

**CANTIDAD Y CALIDAD DE AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO SURATÁ
(SANTADER)**

**INFORME GLOBAL PRÁCTICAS EN LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA
REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA (CDMB)**

ANGGY TATIANA HERNÁNDEZ CASTRO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2016



**CANTIDAD Y CALIDAD DE AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO SURATÁ
(SANTADER)**

**INFORME GLOBAL PRÁCTICAS EN LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA
REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA (CDMB)**

ANGGY TATIANA HERNÁNDEZ CASTRO

**Trabajo de Grado en la modalidad de práctica empresarial para optar al título
de Ingeniero Civil**

DIRECTOR

ISABEL CRISTINA DOMÍNGUEZ RIVERA

Ingeniera Civil

CO-DIRECTOR

EDGAR RICARDO OVIEDO OCAÑA

Ingeniero Civil

TUTOR

HECTOR AMADO HERNANDEZ

Ingeniero Civil

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2016

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mis padres principalmente quienes con su esfuerzo me ayudaron a cumplir mi sueño de ser ingeniera Civil, gracias por creer en mí por estar siempre dándome una palabra de aliento en los momentos difíciles, por ser mi apoyo incondicional y por siempre darme lo mejor para cumplir mi sueño, por ser unos padres comprensivos y amorosos, y ser mi fuente de motivación para seguir día a día en esta carrera.

También a mi abuela, a mis tías y a mis hermanos por el apoyo emocional, intelectual y económico que me brindaron.

Y cada uno de mis amigos y compañeros con los cuales compartí buenos y malos momentos, gracias por todas las experiencias vividas, por tantas enseñanzas de vida.

AGRADECIMIENTOS

Principalmente agradezco a Dios por mi vida, por su amor incondicional, por cada logro obtenido, por su cuidado y por todas las bendiciones que me brinda cada día.

A la Ingeniera Isabel Cristina Domínguez por la colaboración, instrucción, disponibilidad y orientación en el desarrollo de la práctica y el cumplimiento de los objetivos propuestos.

Al Ingeniero Héctor Amado por la oportunidad de trabajar en la Subdirección de Ordenamiento y Planificación Integral del Territorio (SOPIT), en el grupo de Información y gestión del conocimiento ambiental en el cual me brindó su apoyo durante el desarrollo de las practicas.

A la CDMB por permitir la realización de las prácticas empresariales contribuyendo a mi proceso de aprendizaje.

A mi familia, Padres, hermanos, tías y abuela, por su apoyo, ayuda y amor incondicional con el que siempre he contado.

A mis amigos, compañeros y docentes, que hicieron parte de mi proceso de aprendizaje con su apoyo y contribución en mi formación como profesional y los cuales me motivaron a salir adelante.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	12
1. MARCO TEÓRICO.....	15
1.1. Redes de monitoreo:.....	15
1.2.1. Aforo volumétrico:	15
1.2.2. Aforo de vadeo:	16
1.2.3. Estación limnimétrica:.....	16
1.2.4. Curvas de calibración:	17
1.3. Monitoreo de la calidad de agua:	17
1.4. Índices de calidad:.....	17
2. METODOLOGÍA	19
2.1. Análisis de los datos obtenidos de las redes de monitoreo hidro- climatológica.	19
2.2. Comparación de datos actuales con el registro histórico existente.	21
2.2.1. Frecuencia de monitoreo:	21
2.2.2. Análisis de temporalidad anual (rangos):	22
2.3. Curvas de gasto con la información existente de las estaciones de monitoreo.....	22
2.4. Análisis de datos obtenidos en las redes de monitoreo de calidad de agua. 25	
2.4.1. Análisis preliminar:	26
2.4.2. Frecuencia de monitoreo de calidad de agua:	27

2.4.3.	Análisis espacio temporal:	27
2.5.	Índices de calidad de agua (ICA) y de contaminación (ICO´S).....	27
2.5.1.	Índice de calidad de agua (ICA):.....	28
2.5.2.	Índices de contaminación de agua (ICO´S):	29
3.	RESULTADOS	33
3.1.	Análisis de información de cantidad de agua de la red hidro-climatologica año 2015.....	33
3.2.	Comparación de datos actuales con el existente histórico.....	34
3.2.1.	Frecuencia de monitoreo:	34
3.2.2.	Análisis de temporalidad anual (rangos):	36
3.3.	Curvas de gastos o calibración.	38
3.3.1.	Curva de Calibración estación SA-07 Uña de Gato:	39
3.3.2.	Curva de Calibración estación SA-06 Puente Panega:	40
3.3.3.	Curva de Calibración estación RT-01 Puente Tona:	41
3.4.	Análisis estadístico de datos de calidad de agua actuales.....	43
3.4.1.	Análisis preliminar:	43
3.4.2.	Frecuencia de monitoreo de calidad de agua:	50
3.4.3.	Análisis espacial-temporal.	51
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
5.	BIBLIOGRAFÍA	60

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. <i>Puntos de monitoreo de cantidad y calidad de agua en la subcuenca del río Suratá</i>	14
Tabla 3. <i>Índices de Calidad</i>	17
Tabla 4. <i>Caudales aforados en el año 2015 para la subcuenca del río Suratá</i>	20
Tabla 5. <i>Formato para elaborar una regresión por mínimos cuadrados</i>	24
Tabla 6. <i>Parámetros de ingreso para información de calidad de agua</i>	25
Tabla 7. <i>Intervalos de Calidad (ICA)</i>	29
Tabla 8. <i>Intervalos de Contaminación (ICO's)</i>	29
Tabla 9. <i>Clasificación Índice de contaminación trófica (ICOTRO)</i>	32
Tabla 10. <i>Medidas de tendencia central para aforos de 2015</i>	33
Tabla 11. <i>Rangos de caudales por temporada</i>	37
Tabla 12. <i>Medidas de tendencia central para niveles</i>	39
Tabla 13. <i>Regresión potencial para curva de calibración de SA-07</i>	39
Tabla 14. <i>Regresión potencial para curva de calibración de SA-06</i>	40
Tabla 15. <i>Regresión potencial para curva de calibración de SA-06</i>	41
Tabla 16. <i>Índice de Calidad monitoreos 2015</i>	43
Tabla 17. <i>Índice de Calidad monitoreos 2014</i>	44
Tabla 18. <i>Cuadro comparativo de ICA promedio 2014-2015</i>	45
Tabla 19. <i>Información total de índices de calidad y contaminación de agua</i>	46

LISTA DE GRAFICOS

	Pág.
Grafico 1. Representación espacial del caudal aforado 2015 río Suratá.	34
Grafico 2. Cantidad acumulada de aforos.....	35
Grafico 3. Frecuencia de aforos periodo 2011-2015.....	36
Grafico 4. Rangos generales de caudales por temporadas.	37
Grafico 5. Gráfico de cajas y bigotes para caudales.....	38
Grafico 6. Curva de calibración Estación SA-07.	40
Grafico 7. Curva de calibración Estación SA-06.	41
Grafico 8. Curva de calibración de estación RT-01 Puente Tona.	42
Grafico 9. Comparativo de porcentaje de Calidad de ICA 2014-2015.	45
Grafico 10. Comparativo de porcentaje de Calidad de ICA 2014-2015 corregido...	47
Grafico 11. Resumen índices de contaminación 2014-2015.....	48
Grafico 12. Comparativos ICA 2014-2015.	49
Grafico 13. Comparativos ICO's 2014-2015.	50
Grafico 14. Frecuencia de monitoreo de calidad de agua.....	51
Grafico 15. Representación gráfica del ICA para el año 2015 del río Suratá.....	52
Grafico 16. Representación gráfica del ICOMI para el año 2015 del río Suratá. ...	53
Grafico 17. Representación gráfica ICOMO para el año 2015 del río Suratá.	54
Grafico 18. Representación gráfica del ICOSUS para el año 2015 del río Suratá.	55
Grafico 19. Representación gráfica del ICOTRO para el año 2015 del río Suratá.	56

LISTA DE IMÁGENES

	Pág.
Imagen 1. Ubicación estaciones de monitoreo en la subcuenca del río Suratá.	13
Imagen 2. Mira limnimétrica instalada en la estación SA-07 Uña de gato.	16

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1. Manual de aforo, monitoreo y operación del SIC.
- Anexo 2. Histórico de aforos realizados en la Red de monitoreo.
- Anexo 3. Histórico de calidad de Red de monitoreo.
- Anexo 4. Análisis de cantidad.
 - Frecuencia de aforos de monitoreo.
 - Análisis espacial.
 - Curvas de calibración.
- Anexo 5. Análisis de calidad de agua.
 - Análisis preliminar.
 - Análisis espacial.
 - Frecuencia de monitoreos.

NOTA: Los anexos a este documento se adjuntan en una carpeta con el mismo nombre.

RESUMEN

La Corporación Autónoma Regional para la Defensa de Meseta de Bucaramanga (CDMB) como autoridad ambiental tiene como función realizar procesos de evaluación, análisis, gestión y seguimiento medioambiental, donde mediante la implementación de una red de monitoreo hidroclimatológica en su área de jurisdicción, permite la toma de decisiones encaminadas al aprovechamiento sostenible de estos recursos.

Como desarrollo de las funciones de monitoreo ambiental se realizó un análisis detallado de la información almacenada de cantidad (caudales) y calidad de agua en la red hidroclimatológica para la subcuenca del río Suratá, a partir de datos disponibles de aforos, lecturas de nivel en estaciones limnimétricas y toma de muestras para la generación de índices de calidad y contaminación. Para ello, se verificó la calidad de los datos, se analizaron estadísticamente las variables, se caracterizó su comportamiento y se realizaron curvas de calibración de las estaciones limnimétricas. Este análisis se realizó de acuerdo a los procedimientos propuestos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para el estudio hidroclimatológico en Colombia. Adicionalmente, se generó un manual para el proceso de recolección, procesamiento y cargue de datos a los aplicativos utilizados en la CDMB para generar reportes de cantidad y calidad de agua en las cuencas del área de jurisdicción.

PALABRAS CLAVE: Aforos de caudal, Curva de calibración, Calidad del agua, río Suratá.

ABSTRACT

The Corporación Autónoma Regional para la Defensa de Meseta de Bucaramanga (CDMB) as environmental authority has within its functions to perform processes for the evaluation, analysis, management and environmental monitoring. These processes are possible through a hydroclimatological monitoring network in its area of jurisdiction. The information provided support decision making aimed to the sustainable use of water resources.

As part of the functions of environmental monitoring, a detailed analysis of the information stored about quantity (flow) and quality of water from the hydroclimatological network for the sub-basin of Suratá river was prepared. The analysis was based on data available from gauging, level readings done at limnimetric stations and sampling. These data allow to generate quality and pollution indices. For this, the quality of the data was verified, the variables were statistically analyzed, their behavior was characterized and calibration curves of the limnimetric stations were prepared. The analysis was carried out in accordance with the procedures proposed by the Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales (IDEAM) for hydroclimatological studies in Colombia. In addition, a manual for the collection, processing and data loading to the applications used in CDMB to generate water assessment reports in the jurisdiction area was generated.

KEYWORDS: Flow gaugings, Calibration curve, Water quality, quality and pollution indices.

INTRODUCCIÓN

La Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), es un ente público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y recursos naturales renovables [1]. La CDMB tiene como autoridad ambiental un área de jurisdicción conformada por 13 municipios: Rionegro, El Playón, Suratá, Vetas, California, Matanza, Charta, Tona, Girón, Bucaramanga, Floridablanca, Lebrija y Piedecuesta [2].

Entre sus funciones, la corporación tiene a cargo el monitoreo y evaluación de la calidad de los cuerpos de agua, el cual depende del seguimiento a las corrientes superficiales del área de jurisdicción de la entidad. Este proceso de monitoreo incluye la recolección de muestras, análisis de laboratorio y evaluación de resultados.

El seguimiento a la calidad del agua realizado en puntos específicos donde los grados de contaminación son considerables arroja datos que son comparados con los Índices de Calidad del Agua (ICA) e índices de contaminación (ICO's). Estos índices se calculan en cuerpos hídricos priorizados en toda el área de jurisdicción y ayudan a la CDMB a realizar un proceso de control que contribuye a garantizar la estabilidad ambiental del ecosistema del cual las poblaciones dependen y a generar información que contribuya a la toma de decisiones orientadas al mejoramiento de la calidad de las fuentes hídricas de la región.

La práctica empresarial tuvo como objetivo el apoyo en el análisis y sistematización de los datos obtenidos en los monitoreos a la cuenca del río Suratá, buscando comprender el comportamiento espacio-temporal de los caudales, evaluando la calidad del agua y valorando la relación existente entre calidad y cantidad de agua

según los parámetros requeridos para la preparación de informes de la entidad para los procesos del control ambiental que se realiza a las fuentes de agua [3].

La CDMB tiene localizados 65 puntos de monitoreo de calidad de agua, 30 puntos de monitoreo con estaciones limnimétricas y 11 puntos de monitoreo climatológico sobre cuerpos hídricos priorizados: Lebrija, Chicamocha, Sogamoso, Chitagá, de Oro y Suratá. En este trabajo se estudió la cuenca del río Suratá dada su importancia, ya que es una de las principales corrientes que reciben y asimilan las aguas residuales del Área Metropolitana de Bucaramanga y presentan diferentes actividades de agricultura y minería que contribuyen al deterioro de la calidad de agua.

En su recorrido, el río Suratá se monitorea en cinco puntos, tres en la microcuenca Suratá Alto (SA-07, SA-06, SA-05), y dos en la microcuenca Suratá Bajo (SA-03, SA-01). Además, esta corriente cuenta con estaciones de monitoreo en sus principales afluentes como son Río Vetas (RV-01, RV-02, RV-05 y LB-01), Río Charta (RCH-01) y Río Tona (RT-01) [4], para un total de 11 puntos de monitoreo de calidad y cantidad de agua ubicados como se muestra en la Figura 1 y los cuales son referenciados y descritos en la Tabla 1.

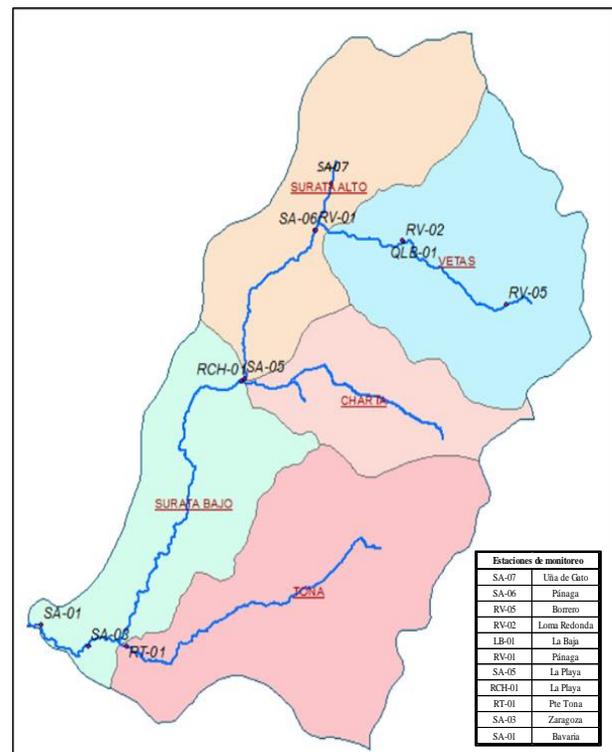


Imagen 1. Ubicación estaciones de monitoreo en la subcuenca del río Suratá.

Tabla 1. Puntos de monitoreo de cantidad y calidad de agua en la subcuenca del río Suratá

CUADRO RESUMEN PUNTOS DE MONITOREO						Tipo de estación		Año de creación	LOCALIZACIÓN			
Cuenca monitoreada:			Río Suratá			OBSERVACIONES			REFERENCIA	COTA [m]	Coordenadas	
N°	CÓDIGO	NOMBRE	MICRO-CUENCA	CORRIENTE	MUNICIPIO	CANTIDAD (limnómetro)	CALIDAD				Norte	Este
1	RV-05	Borrero	Río Vetás	Río Vetás	California	Fuera de funcionamiento	Funcionando	1997	Después de la confluencia con la quebrada el salado	2905	1,301,123	1,132,039
2	RV-02	Río Vetás	Río Vetás	Río Vetás	California	No Existe	Funcionando	1988	Antes de la confluencia con la quebrada la Baja	2066	1,304,432	1,125,764
3	LB-01	Loma redonda o La Baja	Río Vetás	Río vetas - Quebrada la baja	Vetas	No existe	Funcionando	1988	Antes de la confluencia con el río Vetás	2026	1,304,459	1,125,722
4	SA-07	Uña de gato	Suratá Alto	Río Suratá	Suratá	Funcionando	Funcionando	1984	Antes del municipio de Suratá, bajo el puente vía Suratá-california	1770	1,307,446	1,121,395
5	RV-01	Puente panega Vetás	Río Vetás	Río Vetás	Suratá	Mira oxidada	Funcionando	1983	Antes de la confluencia del ríos Suratá	1649	1,305,052	1,120,505
6	SA-06	Puente panega Suratá	Suratá alto	Río Suratá	Suratá	Funcionando	Funcionando	1983	Antes de la confluencia con el río Vetás.	1652	1,305,051	1,120,505
7	SA-05	La playa	Suratá alto	Río Suratá	Matanza	No existe	Funcionando	1998	Antes de la confluencia con el río Charta	1393	1,297,202	1,116,170
8	RCH-01	La playa Charta	Río Charta	Río Charta	Charta	Malas condiciones	Funcionando	1983	Antes de la confluencia con el río Suratá	1391	1,297,054	1,115,981
9	RT-01	Puente Tona	Río Tona	Río Tona	Tona	Funcionando	Funcionando	1983	Antes de la confluencia con el río Suratá	878	1,283,135	1,109,069
10	SA-03	Bosconia	Suratá Bajo	Río Suratá	Bucaramanga	Mira mal ubicada, No funciona	Funcionando	1983	A 40 mts antes de la captación del acueducto para la planta de Bosconia	734	1,283,144	1,106,774
11	SA-01	Bavaria	Suratá Bajo	Río Suratá	Bucaramanga	Mira mal ubicada, No funciona	Funcionando	1983	Aguas abajo de vertimiento del ATAI de Bavaria	636	1,284,235	1,103,881

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Redes de monitoreo:

Las redes de monitoreo son una herramienta fundamental en el manejo de los recursos hídricos, a través de las cuales se busca valorar el estado de la fuente hídrica y su calidad con miras a establecer la oferta y planificar el aprovechamiento del mismo, así como determinar la dimensión y causas de sus variaciones espacio-temporales [5], mediante la captura sistemática y estandarizada de información del estado de cantidad y calidad de agua [6]

1.2. Monitoreo de la cantidad de agua:

Para monitorear las variaciones del caudal que fluye por una corriente, producto de las actividades de recuperación y conservación implementadas en la cuenca seleccionada, se pueden realizar aforos de caudal. La manera en que se hacen estos aforos depende del tamaño de la corriente; se emplean aforos volumétricos si el cauce es pequeño, o aforos por vadeo para cauces medianos o grandes. También se puede realizar mediciones de nivel si se cuenta con una mira limnimétrica con la que se puede relacionar caudales a través de una curva de calibración.

1.2.1. Aforo volumétrico:

El aforo volumétrico consiste en medir el tiempo que gasta el agua previamente encausada en llenar un recipiente de volumen conocido [7], relacionado al caudal con el volumen y tiempo de llenado.

1.2.2. Aforo de vadeo:

El aforo por vadeo consiste en dividir el ancho total de la corriente en un número conveniente de secciones en la cual se medirán las profundidades y la velocidad media en cada sección utilizando un molinete [8].

1.2.3. Estación limnimétrica:

Es un instrumento de medición directa el cual consiste en una regla graduada en tramos de un metro de longitud asegurados a un listón de madera o riel y anclados sobre una superficie fija que los soporta como se puede observar en la Imagen 2. Los datos de nivel se utilizan como base para computar registros de caudal o cambios en el nivel de agua, cuyo registro se realiza por un observador (persona encargada de ir a la estación limnimétrica a registrar los niveles de la mira), usualmente dos veces al día [9].



Imagen 2. Mira limnimétrica instalada en la estación SA-07 Uña de gato.

1.2.4. Curvas de calibración:

Una curva de calibración es la representación gráfica de las variaciones de caudales (Q) en la sección transversal de un río, en función de las lecturas de la mira (H) de una estación limnométrica. Para los niveles en que se tenga suficiente cantidad de aforos (niveles medios) su elaboración no presenta mayor dificultad. El problema se reduce al ajuste de la curva por las ecuaciones de mínimos cuadrados [10].

1.3. Monitoreo de la calidad de agua:

Los puntos de monitoreo de calidad de agua son aquellos en los que se recolectan muestras de agua para su análisis de laboratorio, donde se obtienen los parámetros necesarios para la realización de los índices de calidad y contaminación de agua [6]

1.4. Índices de calidad:

Con el fin de evaluar la calidad o grado de contaminación del agua se han desarrollado diversos índices de calidad, tanto generales como de uso específico [11]. La Tabla 2 presenta una síntesis de algunos índices de calidad, especificando su objetivo y variables a evaluar.

Estos índices representan la calidad (ICA) o especifican el tipo de contaminación (ICO's) existente en una corriente, asignando valores de contaminación entre cero y uno para ICO's y de cero a cien para ICA, relacionado a el valor de la variable y su incidencia en el índice.

Tabla 2. *Índices de Calidad.*

TIPOS DE ÍNDICES		
Índice	VARIABLES	Objetivo
Índice de calidad de agua (ICA)		
ICA	Temperatura, pH, Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Nitrógeno Total, Fósforo Total, Sólidos Totales,	Considera la destinación del recurso para el abastecimiento humano y su seguimiento ayuda a evaluar los cambios de los cuerpos de agua por acciones antrópicas.

	Turbiedad, Coliformes Fecales.	
Índices de contaminación (ICO's)		
Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)	Conductividad, Dureza y Alcalinidad.	Refleja la contaminación por mineralización del agua. Indicador adaptado a las condiciones de nuestro país.
Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO).	Demanda Bioquímica de Oxígeno, Coliformes Totales, % saturación de Oxígeno.	Refleja fuentes diversas de contaminación orgánica y la respuesta ambiental del cuerpo de agua a este tipo de polución. Indicador adaptado a las condiciones de nuestro país.
Índice de contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS).	Sólidos Suspendidos	Se determina por la concentración de Sólidos Suspendidos. Su principal causa la constituyen los procesos erosivos y extractivos. Su principal efecto es la disminución de la penetración de la luz y con ello la disminución en la fotosíntesis.
Índice de contaminación trófico (ICOTRO).	Concentración de fosforo.	Determina la contaminación por fósforo, proveniente principalmente por la actividad agrícola y aguas domésticas.

Fuente: Protocolos elaborados para medir el impacto de las intervenciones del fondo agua por la vida y la sostenibilidad [6].

2. METODOLOGÍA

En esta sección se describe el desarrollo de cada una de las actividades planteadas en la práctica profesional para dar cumplimiento a los objetivos específicos de la misma.

2.1. Análisis de los datos obtenidos de las redes de monitoreo hidro-climatológica.

Los datos de caudal registrados en cada punto de monitoreo fueron medidos mediante aforos periódicos que pueden ser mensuales, bimensuales o trimestrales, dependiendo de la disponibilidad de los técnicos encargados de esta actividad. Los aforos pueden ser aforos volumétricos o aforos por vadeo como se describió en el marco teórico y su descripción detallada se encuentra en el Anexo 1.

La información de cantidad es procesada en el aplicativo SIC (Sistema de Información Corporativo), donde pueden ser consultados por el personal autorizado de la entidad. El protocolo de ingreso, consulta y extracción de información del SIC se explica en el Anexo 1, que es un manual para el manejo de la red de monitoreo de cantidad y calidad de agua, preparado en el desarrollo de esta práctica.

Para el año 2015 se realizaron aforos durante el segundo semestre, obteniendo la información registrada en la Tabla 3, donde se muestran los meses en que se realizaron los aforos y la cantidad de aforos realizados en cada estación. Las estaciones más aforadas fueron SA-07 y SA-05 que contaron con 5 aforos durante el año. La estación menos aforada fue la SA-01, debido a una falta de planeación en la realización del cronograma de monitoreo.

Tabla 3. Caudales aforados en el año 2015 para la subcuenca del río Suratá.

SURATÁ 2015					
Aforos de caudal [m ³ /s]					
ESTACIÓN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV
SA-07	0.588	0.547	0.424	0.331	1.586
SA-06	0.578	0.637	0.507	0.341	
RV-01		0.728	0.534	0.593	
SA-05	3.183	1.474	1.197	0.900	2.779
RCH-01	0.435	0.321	0.301	0.258	
RT-01	0.175	0.076	0.023		0.020
SA-03	4.352	2.430	1.715	1.277	
SA-01			0.550	0.580	
Río Vetas					
RV-05	0.426	0.352	0.150		
RV-02	0.747	0.945			
LB-01	0.309	0.256	0.194		

Para el análisis de esta información se planteó un análisis estadístico de medidas de tendencia central para los caudales aforados en el río Suratá y en su principal afluente el río Vetas y una representación gráfica donde se presenta el comportamiento espacial de la principal corriente y el aporte de cada afluente en la cuenca estudiada.

Es necesario mencionar que se realizó un aforo al mes en cada estación debido al cronograma de las jornadas de monitoreo planteadas para el 2015. Sin embargo, en la cuenca de estudio, los aforos en todas las estaciones no se realizaron el mismo día, ya que en una ronda de monitoreo, todas las estaciones de la cuenca pueden haber sido aforadas en un lapso de tiempo de 1, 2, 3 o más días.

2.2. Comparación de datos actuales con el registro histórico existente.

Este análisis se realizó en dos partes en las que se quiere mostrar la continuidad y la calidad de la información recolectada por la CDMB (ver Anexo 2). Para ello se hizo un estudio de la frecuencia de monitoreo y un análisis de temporalidad que se describen a continuación y puede ser consultado en más detalle en el Anexo 4.

2.2.1. Frecuencia de monitoreo:

Se determinó la frecuencia con la que se ha estado monitoreando el río Suratá y sus afluentes contando el número de aforos realizados por año en todo el tiempo de funcionamiento de las estaciones. Es importante señalar que la cantidad de aforos realizados por estación es acumulada y las condiciones en las que se contaron los aforos tienen en cuenta inclusive los siguientes casos:

- ✓ Más de 1 aforo en el mismo día para la misma estación.
- ✓ Falta de aforos en algunos meses al año o en el año completo.
- ✓ Diferentes intervalos entre mediciones (mensuales, bimensuales, trimestrales, o hasta varios años).

Para el análisis de la frecuencia de monitoreo se planteó la realización de gráficos de frecuencia histórica donde se pueda mostrar el comportamiento general de la toma de muestras en la cuenca de estudio, tanto espacial como temporalmente, y gráficos en los que se pueda apreciar el número de aforos realizados por estación de monitoreo. Finalmente se preparó un gráfico que muestra la cantidad de aforos realizados en los últimos cinco años en cada estación de monitoreo, para verificar la continuidad de la información reportada.

2.2.2. Análisis de temporalidad anual (rangos):

Para entender mejor el comportamiento del caudal en cada estación se realizó un análisis con rangos donde se muestra el comportamiento general del caudal en cada estación monitoreada, así como el comportamiento en temporadas secas y de lluvia.

Se estableció una clasificación de los caudales, dependiendo de la temporada a la que pertenecen, de acuerdo con el régimen bimodal y definidas como:

- ✓ Temporada de lluvias: primera en Marzo, Abril y Mayo y la segunda en Septiembre, Octubre y Noviembre.
- ✓ Temporada seca: Primera en Diciembre, Enero y Febrero y la segunda en Junio, Julio y Agosto.

Con esta clasificación se buscó establecer rangos de caudales máximos y mínimos para las temporadas descritas, y utilizando gráficos de cajas y bigotes, mostrar finalmente la distribución de la información recolectada.

2.3. Curvas de gasto con la información existente de las estaciones de monitoreo.

Para la elaboración de las curvas de calibración se tuvieron en cuenta varios aspectos establecidos en el Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua del IDEAM [12]. Este protocolo establece cómo se deben realizar los aforos y los aspectos que se deben tener en cuenta para la realización de las curvas de calibración de estaciones limnimétricas. La información preliminar de cada estación a la que se debe tener acceso antes de realizar una curva de calibración incluye: fecha y hora, nivel medio, ancho de sección, velocidad media, área de la sección, factor geométrico y caudal.

Para el cálculo y procesamiento de niveles de agua de un río, estos deben ser obtenidos de las siguientes maneras:

- ✓ De lecturas directas de las miras limnimétricas, realizándose dos veces al día (a las 6 am y 6 pm) en corrientes con variaciones de caudales suaves.
- ✓ De lecturas directas de máxímetros.
- ✓ De las gráficas registradoras de los limnógrafos.
- ✓ De las estaciones automáticas.

Para el cálculo y procesamiento de curvas de calibración es necesario:

- ✓ Medir el caudal mediante aforos líquidos
- ✓ Calcular los caudales a partir de datos de nivel y la curva de calibración que tendrá vigencia mientras las condiciones geométricas de la sección se mantengan uniformes.

Para la construcción de la curva de gastos se debe tener en cuenta que:

- a. El tipo de ecuación que generalmente representa la relación nivel-caudal es exponencial, donde se pueden calcular el valor de las constantes por el método de mínimos cuadrados.
- b. En secciones de control no permanente, la relación nivel-caudal varía con el tiempo y los aforos líquidos se deben realizar con mayor frecuencia para la actualización de la curva de gastos.
- c. Es requisito primordial la estabilidad de la sección.

En relación con los requerimientos descritos planteados por el IDEAM para la elaboración de las curvas de gastos, es importante resaltar que la CDMB no cumple con varios de los literales. Por ejemplo, no es posible el procesamiento de niveles,

literal a, ya que no se cuenta con los observadores necesarios para la toma de registro diario de los niveles en las miras limnimétricas.

Para los literales b y c se cuentan con pocos datos de niveles y aforos en cada estación, por lo cual no se puede asegurar que las condiciones geométricas de la sección sean uniformes y estables debido a la poca cantidad y frecuencia de los aforos. Sin embargo, y con las limitaciones ya mencionadas se procedió a realizar las curvas de calibración por el método de mínimos cuadrados, el cual consiste en obtener los coeficientes faltantes de la siguiente ecuación que representa la curva de calibración:

$$Q = a * H^b$$

Donde

$$a = 10^{\frac{\sum Y - b * \sum X}{N}}$$

$$b = \frac{N * \sum(X * Y) - \sum(X) * \sum(Y)}{N * \sum(X^2) - (\sum X)^2}$$

$$r = \frac{N * \sum(X * Y) - \sum(X) * (\sum Y)}{(N * \sum(x^2) - (\sum X)^2) * (N * \sum(Y^2) - (\sum Y)^2)}$$

Los valores pueden obtenerse preparando una hoja de Excel con los ítems que se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Formato para elaborar una regresión por mínimos cuadrados.

Fecha Realización [dd/mm/yyyy]	Nivel Medio n [m]	Caudal Q [m3/s]	X = log(n)	Y = log(Q)	X ²	Y ²	X*Y
--------------------------------	-------------------	-----------------	------------	------------	----------------	----------------	-----

Finalmente, para evaluar la estabilidad de la curva de calibración se determina la dispersión σ que se presenta entre los caudales aforados y los caudales definidos por la relación entre niveles y caudal, que es ocasionada por los siguientes factores:

- ✓ Error sistemático de la metodología de aforo
- ✓ Factores Hidráulicos.
- ✓ Factores Morfológicos.

El valor de dispersión permitido para considerar la curva como estable debe ser menor o igual al 10%.

2.4. Análisis de datos obtenidos en las redes de monitoreo de calidad de agua.

La recolección de información de calidad de agua, se realiza con los mismos funcionarios de los aforos, quienes ejecutan la toma de muestras in situ, que depende de los parámetros a medir.

Para el análisis de los datos de calidad de agua se utilizó la información proporcionada por el aplicativo SIC, el cual ha sido previamente alimentado con la información de laboratorio y campo mostrados en la Tabla 5 y necesarios para la elaboración de índices de calidad y contaminación, los cuales son descritos en el numeral 3.5. y pueden ser consultados en el Anexo 3.

Tabla 5. *Parámetros de ingreso para información de calidad de agua.*

PARÁMETROS			
CAMPO	LABORATORIO		
pH (unidades de pH)	Demanda Bioquímica de Oxígeno - DBO ₅ (mg/L O ₂)	Cianuro (mg/L CN)	Níquel (mg/L)
Conductividad (µs/cm)	Demanda Química de Oxígeno - DQO (mg/L O ₂)	Nitritos (mg NO ₂ -N / L)	Zinc (mg/L)

Oxígeno Disuelto (mgO ₂ /L)	Sólidos Totales ST (mg/L)	Nitratos (mg NO ₃ -N / L)	Plomo (mg/L)
Temperatura ambiente (°C)	Sólidos Suspendidos Totales SST (mg/L)	Fosforo Total (mg/L P)	Manganeso (mg/L)
Temperatura Agua (°C)	Turbiedad NTU	Mercurio (mg/L)	Aluminio (mg/L)
Lectura de la mira (m)	Nitrógeno-Amoniacal (mg/L NH ₃)	Hierro Total (mg/L)	Arsénico (mg/l)
Caudal (m ³ /s)	Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	Cobre (mg/L)	Nitrógeno Total Kjeldalh NTK (mg/L N)
Otras observaciones	Alcalinidad (mg/L CaCO ₃)	Cromo (mg/L)	Cadmio (mg/L)
	Coliformes Totales (NMP/100ml)	Coliformes Fecales (NMP/100ml)	

Con los datos de los parámetros de calidad del agua se realizó un análisis preliminar, de frecuencia y espacial, en los cuales se buscaba mostrar el comportamiento de la cuenca en términos de calidad. Para la consulta más detallada del análisis realizado se cuenta con el Anexo 5.

2.4.1. Análisis preliminar:

Este análisis corresponde a la información que se presenta actualmente en el Informe anual calidad del agua 2015 de la CDMB. En dicho informe se presentan de manera general los resultados de calidad de agua para monitoreos realizados en cada mes monitoreado en el año y se realiza un cuadro comparativo donde se relacionan los resultados obtenidos con el año inmediatamente anterior, generando gráficos en los que se pueden observar los cambios de calidad para el año bajo análisis.

Igualmente, se realizan promedios anuales de los índices de contaminación ICO's en los que se representan gráficamente la contaminación presente en la cuenca en general y se realiza un análisis comparativo con respecto al año anterior, tanto para la corriente principal como para su principal afluente (río Vetas).

2.4.2. Frecuencia de monitoreo de calidad de agua:

Se determinó utilizando el número total de registros existentes en la base de datos de la CDMB y se comparó con la cantidad de registros válidos, relacionando el número de registros con información de índices de calidad y aforos de caudal.

2.4.3. Análisis espacio temporal:

Se analizó la información de calidad (ICA e ICO's) con respecto a la ubicación de las estaciones de monitoreo sobre el río Suratá, buscando relacionar tanto la temporalidad de la información como los factores o parámetros que inciden principalmente en el cambio de los índices a través de la corriente.

Para el análisis espacial de la cuenca del río Suratá se prepararon gráficos en los que se muestran los aportes en términos de calidad de agua, donde se puede revisar la incidencia de la presencia de asentamientos humanos y de los afluentes de la principal corriente.

Así mismo, se presentan gráficos de cada índice de contaminación, donde se muestra cual es la principal fuente de contaminación en cada punto monitoreado a través del cauce principal.

Finalmente, se preparó un mapa de seguimiento para el año 2015 donde se relacionan calidad y cantidad de agua en cada estación.

2.5. Índices de calidad de agua (ICA) y de contaminación (ICO'S)

A continuación se muestra el procedimiento que se debe seguir para la generación de los índices de calidad y contaminación. Sin embargo, es de notar que estos cálculos están sistematizados en la CDMB en el aplicativo SIG que maneja la

corporación, por lo cual no es necesaria la realización de estos índices de modo manual.

2.5.1. Índice de calidad de agua (ICA):

Según el Decreto 1594 de 1984, el ICA se determina a partir de nueve parámetros:

- ✓ Oxígeno Disuelto
- ✓ Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)
- ✓ Nitrógeno Total
- ✓ Fósforo total
- ✓ Sólidos totales
- ✓ Turbiedad
- ✓ Coliformes fecales
- ✓ pH
- ✓ Temperatura

$$I.C.A = \prod_{i=1}^n C_i^{w_i}$$

Dónde:

I.C.A.: Índice de Calidad del Agua, un número entre 0 y 100, adimensional.

C_i : Calidad del i ésimo parámetro, un número entre 0 y 100, obtenido del respectivo gráfico de calidad, en función de su concentración o medida.

W_i : Valor ponderado correspondiente al i ésimo parámetro, atribuido en función de la importancia de ese parámetro para la conformación global de la calidad, un número entre 0 y 1. La sumatoria de valores w_i es igual a 1, siendo i el número de parámetros que entran en el cálculo.

La relación entre el valor del ICA calculado y la clasificación del agua se presenta en la Tabla 6 donde muestra los intervalos de calidad manejados en la CDMB:

Tabla 6. Intervalos de Calidad (ICA).

INTERVALO	CALIDAD
80-100	Optima
52-79	Buena
37-51	Dudosa
20-36	Inadecuada
0-19	Pésima

Fuente: Informe Anual de Calidad de agua 2015.

La evaluación de los ICA se realiza para las principales corrientes del Área Metropolitana de Bucaramanga, entre ellas el río Suratá [13].

2.5.2. Índices de contaminación de agua (ICO'S):

Este índice se divide en cuatro índices dependiendo del tipo de contaminación a determinar: ICOMI, ICOMO, ICOSUS E ICOTRO. Todos los índices, menos ICOTRO, resultan en intervalos de contaminación como aparece en la Tabla 7.

Tabla 7. Intervalos de Contaminación (ICO's)

INTERVALO	GRADO DE CONTAMINACIÓN
0 – 0.2	Ninguna
> 0.2 - 0.4	Baja
> 0.4 – 0.6	Media
> 0.6 – 0.8	Alta
> 0.8 - 1	Muy Alta

Fuente: Informe Anual de Calidad de agua 2015.

2.5.2.1. Índice de contaminación por mineralización (ICOMI): Oscila entre valores de 1 y 0, y como parámetros para su determinación se tienen:

✓ Conductividad

✓ Dureza

✓ Alcalinidad

El ICOMI es el valor promedio de los índices de cada una de las tres variables elegidas, las cuales se definen en un rango de 0 a 1; índices próximos a cero reflejan muy baja contaminación por mineralización e índices cercanos a 1, lo contrario.

$$ICOMI = \frac{1}{3}(I_{Conduct.} + I_{Dureza} + I_{Alcalinidad})$$

Dónde:

$$I_{Conduct.} = -3.26 + 1.34 \log \left(Conduct. \left[\frac{\mu S}{cm} \right] \right)$$

Las conductividades mayores a 270 [$\mu S/cm$] tienen un índice de conductividad igual a 1.

$$I_{Dureza} = -9.09 + 4.4 \log \left(Dureza \left[\frac{mg}{l} \right] \right)$$

Durezas mayores a 110 mg/l tienen un $I_{Dureza} = 1$; Durezas menores a 30 mg/l tienen un $I_{Dureza} = 0$.

$$I_{Alcalinidad} = -0.24 + 0.005 \log \left(Alcalinidad \left[\frac{mg}{l} \right] \right)$$

Alcalinidad mayor a 250 [mg/l] tiene un $I_{Alcalinidad} = 1$; Alcalinidad menor a 50 [mg/l] tiene un $I_{Alcalinidad} = 0$.

2.5.2.2. Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO): Al igual que en la mineralización, se expresa en diferentes variables fisicoquímicas las cuales, en conjunto, recogen efectos distintos de la contaminación orgánica y donde los parámetros para su determinación son:

- ✓ Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)
- ✓ Coliformes Totales
- ✓ Porcentaje de saturación de oxígeno

El ICOMO, al igual que el ICOMI es el valor promedio de los índices de cada una de las tres variables elegidas, como se observa a continuación:

$$ICOMO = \frac{1}{3} (I_{DBO} + I_{Colif.Totales} + I_{Oxigeno\%})$$

Dónde:

$$I_{DBO} = -0.05 + 0.7 \log \left(DBO \left[\frac{mg}{l} \right] \right)$$

DBO mayores a 30 [mg/l] tienen I_{DBO} = 1; DBO menores a 2 [mg/l] tienen I_{DBO} = 0.

$$I_{Colif.Totales} = -1.44 + 0.56 \log \left(Colif.Totales \left[\frac{NMP}{100ml} \right] \right)$$

Colif. Totales mayores a 20.000 [NMP/100ml] tienen I_{Colif.Totales} = 1; Colif. Totales menores a 500 [NMP/100ml] tienen I_{Colif.Totales} = 0

$$I_{Oxigeno\%} = 1 - 0.01(Oxigeno\%)$$

Oxigeno% mayores a 100 tienen un índice de oxígeno de 0.

2.5.2.3. Índice de contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS): Para este índice solo se tiene la concentración de Sólidos Suspendidos como parámetro para su definición, debido a su asociación a compuestos inorgánicos. La expresión de la cual surge su resultado es:

$$ICOSUS = -0.02 + 0.003(\text{Sol. Suspendidos} \left[\frac{mg}{l} \right])$$

Sólidos Suspendidos mayores a 340 [mg/l] tienen ICOSUS = 1, y Sólidos Suspendidos menores a 10 [mg/l] tienen ICOSUS = 0.

2.5.2.4. Índice de contaminación trófica (ICOTRO): Este índice se determina según la concentración del Fósforo total y a diferencia de los índices anteriores, en los cuales se determina un valor particular entre 0 y 1, la concentración del Fósforo Total define por sí misma una categoría, como se describe en la Tabla 8.

Tabla 8. Clasificación Índice de contaminación trófica (ICOTRO)

Clasificación	Intervalo
Oligotrófico	< 0.01 [mg/l]
Mesotrófico	0.01 - 0.02 [mg/l]
Eutrófico	0.02 - 1 [mg/l]
Hipereutrófico	> 1 [mg/l]

Fuente: Informe Anual de Calidad de agua 2015.

3. RESULTADOS

3.1. Análisis de información de cantidad de agua de la red hidro-climatológica año 2015.

La Tabla 9 muestra el comportamiento general del caudal en las estaciones existentes en la cuenca del río Suratá, donde se muestra el incremento y las variaciones a lo largo del río Suratá. Las dispersiones observadas obedecen a que al ser valores de aforos, estos son poco precisos para definir el caudal promedio del punto monitoreado. Esto es evidente en la estación SA-05 donde paso de tener un caudal de 3.18 m³/s en el mes de Julio a un caudal de 0.9 m³/s en el mes de Octubre, encontrándose que para la fecha en que se realizó el aforo de octubre las condiciones climáticas del punto fueron atípicas ya que era el segundo día sin llover para un mes lluvioso, por lo tanto, este caudal es mucho menor al caudal que podría representar el promedio del mes, pudiendo deducirse que la información de aforos es insuficiente para realizar medidas de tendencia central, por no ser representativas para este estudio.

Tabla 9. Medidas de tendencia central para aforos de 2015.

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL						
ESTACIÓN	Número de aforos	PROMEDIO [m ³ /s]	MEDIANA [m ³ /s]	MÁXIMO [m ³ /s]	MÍNIMO [m ³ /s]	DESV. ESTANDAR
SA-07	5	0.6952	0.5474	1.5859	0.3306	0.5082
SA-06	4	0.5158	0.5428	0.6373	0.3405	0.1284
RV-01	3	0.6181	0.5925	0.7282	0.5335	0.0998
SA-05	5	1.9065	1.4739	3.1825	0.9002	1.0114
RCH-01	4	0.3289	0.3114	0.4352	0.2575	0.0757
RT-01	4	0.0736	0.0495	0.1754	0.0202	0.0726
SA-03	4	2.4435	2.0725	4.3517	1.2772	1.3581
SA-01	2	0.5648	0.5648	0.5795	0.5501	0.0208

Para el análisis espacial de la cuenca, el Grafico 1 muestra un aumento paulatino del caudal a lo largo del recorrido del río Suratá y se ve la influencia que tienen sus afluentes en el aumento del mismo. También se evidencia en la sección situada entre SA-03 y SA-01 que se genera una reducción de caudal considerable debido a las captaciones del acueducto de Bucaramanga que se encuentran en este tramo, donde para los meses de septiembre y octubre se registra una disminución de caudal de 1.16 m³/s y 0.7 m³/s respectivamente, y se puede notar que en los meses de julio, agosto y noviembre no se monitorearon algunas estaciones principales como lo son SA-01 y SA-03.

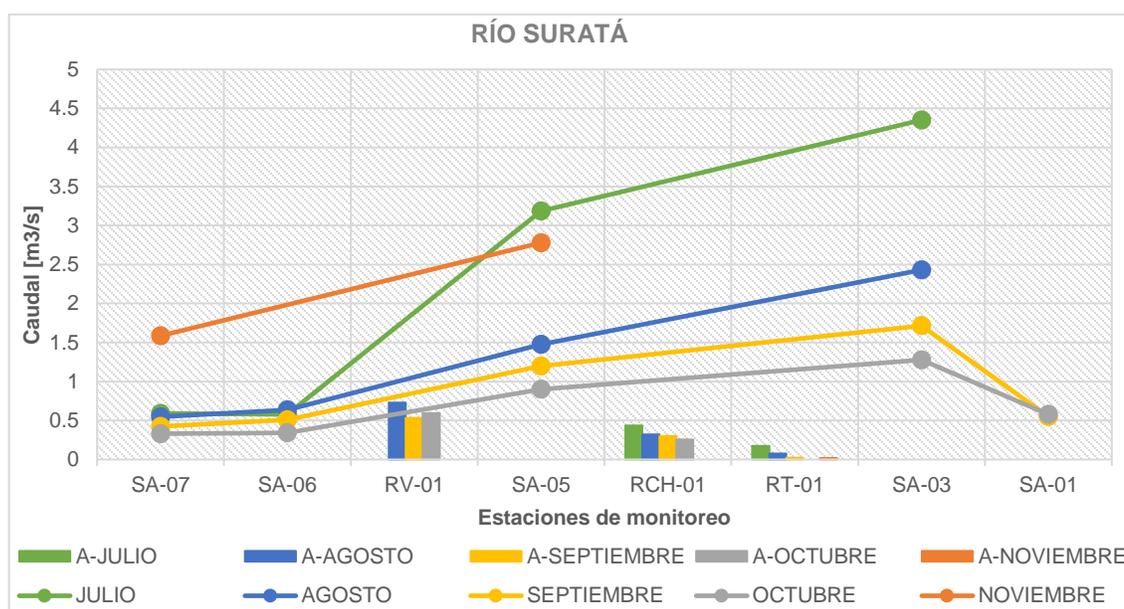


Grafico 1. Representación espacial del caudal aforado 2015 río Suratá.

3.2. Comparación de datos actuales con el existente histórico.

3.2.1. Frecuencia de monitoreo:

Inicialmente se realizó un análisis de la frecuencia de monitoreo para cada estación el cual puede ser consultado en detalle en el Anexo 4 y donde se muestra un gráfico

con las frecuencias históricas de cada punto y en el cual se puede observar la falta de continuidad en la toma de aforos.

En el Grafico 2, que incluye el número total de aforos realizados en todo el tiempo de funcionamiento de cada estación, se puede observar que el monitoreo de las diferentes estaciones no es constante, ni el número de aforos realizados corresponde a una priorización de las estaciones que podrían ser más importantes en la cuenca, si no a que no todas las estaciones se crearon en el mismo año, como se señaló en la Tabla 1, y por lo cual la estación RT-01 que es la que tiene más aforos cuenta con datos tomados desde 1983, mientras las otras solo cuentan con datos desde 1997. Para la mayoría de las estaciones, la cantidad de aforos disponibles está entre 22 y 60, durante los últimos 18 años de monitoreo (desde 1997).

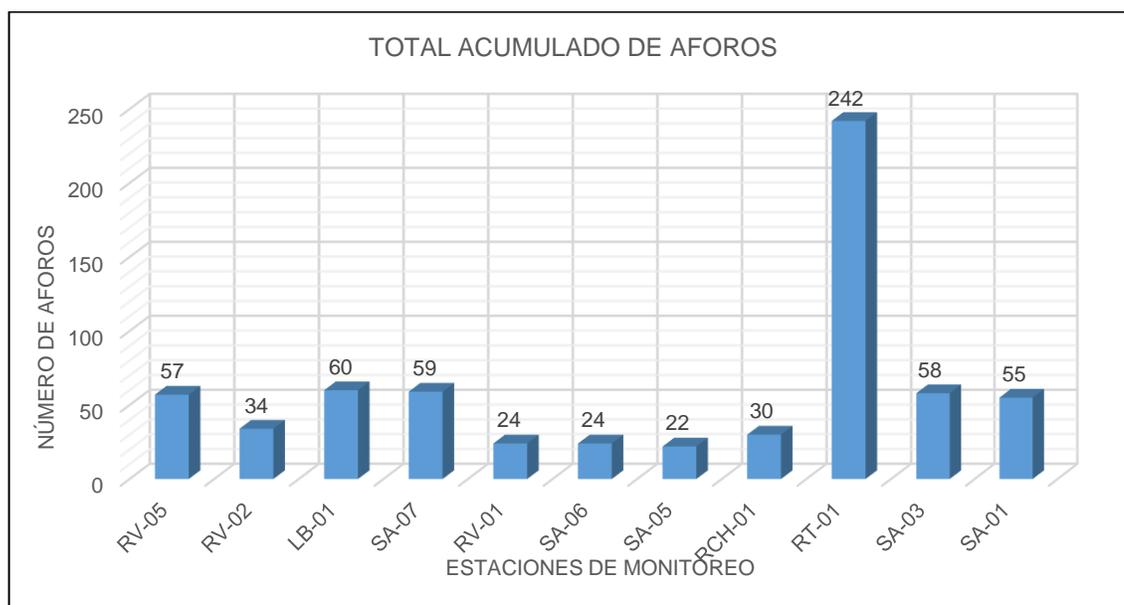


Grafico 2. Cantidad acumulada de aforos.

El Grafico 3 muestra la frecuencia de aforo de los últimos 5 años (2011 - 2015), donde se puede observar que la CDMB ha cambiado la frecuencia de monitoreo y

los puntos donde es más importante este seguimiento. En los últimos dos años se muestra un monitoreo un poco más uniforme de las estaciones, donde se puede destacar que todas las estaciones han sido monitoreadas y que entre las estaciones más monitoreadas se encuentran algunas del cauce principal (SA-07 y SA-05).

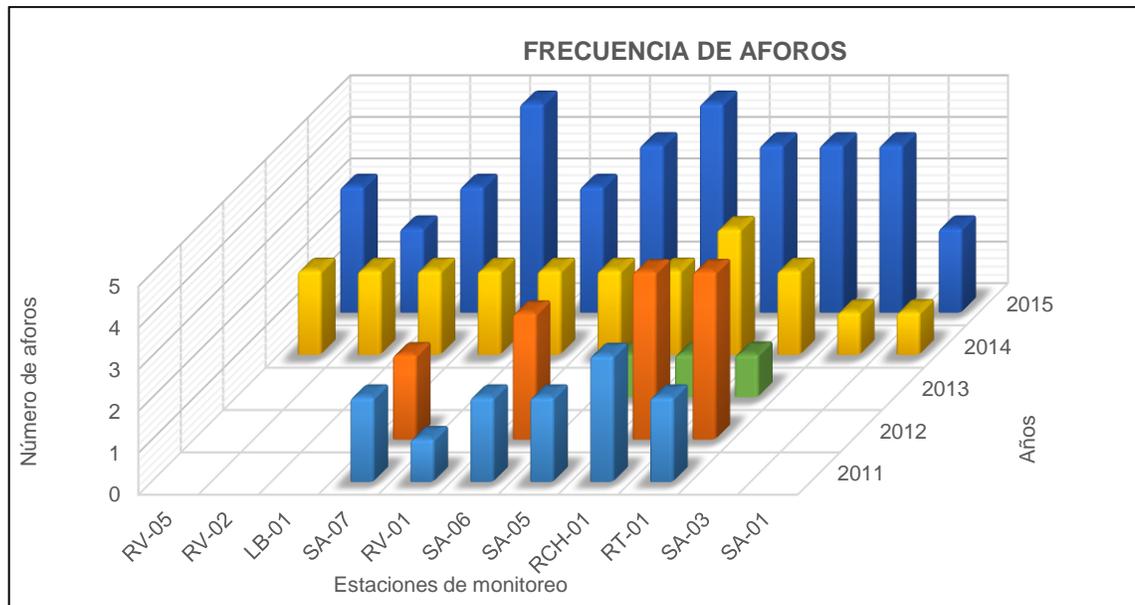


Grafico 3. Frecuencia de aforos periodo 2011-2015.

3.2.2. Análisis de temporalidad anual (rangos):

En la Tabla 10 que sintetiza los rangos de caudales a partir de aforos realizados en las diferentes estaciones durante su funcionamiento, se puede apreciar que los picos máximos y mínimos de caudales se presentan más frecuentemente relacionados con la temporada de lluvia y principalmente los valores mínimos están relacionados con los aforos realizados en el 2015 como se puede observar en la Tabla 3 previamente mencionada, siendo este el año más seco registrado por la CDMB.

Tabla 10. Rangos de caudales por temporada.

ESTACIÓN	NÚMERO DE AFOROS	FECHAS AFORADAS		GENERAL		SECA		LLUVIA	
		PRIMER	ÚLTIMO	Caudales [m ³ /s]					
				Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
SA-07	59	10/03/93	04/11/15	0.331	3.74	0.446	2.962	0.331	3.74
RV-01	24	16/09/98	07/10/15	0.534	3.516	0.728	3.516	0.534	3.41
SA-06	24	16/09/98	07/10/15	0.341	3.802	0.578	2.505	0.341	3.802
SA-05	22	16/09/98	04/11/15	0.9	6.611	1.363	5.168	0.9	6.611
RCH-01	30	16/09/98	07/10/15	0.258	2.796	0.285	2.311	0.258	2.796
RT-01	242	14/10/80	3/11/15	0.02	5.257	0.037	2.839	0.02	5.257
SA-03	58	18/11/98	08/10/15	1.277	14.707	1.977	9.245	1.277	14.707
SA-01	55	16/08/88	08/10/15	0.55	11.64	1.315	10.61	0.55	11.64

En el Grafico 4 se observa que los rangos de caudales son más estrechos en la temporada seca que en la de lluvias y sin embargo se puede notar que los valores mínimos de rangos se presentan también en la temporada de lluvias, lo que muestra que la corriente tiene amplias variaciones de caudal a lo largo de todo el año y según los valores de aforos con lo que se cuenta no está especialmente afectada por la temporada en que se pueda presentar.

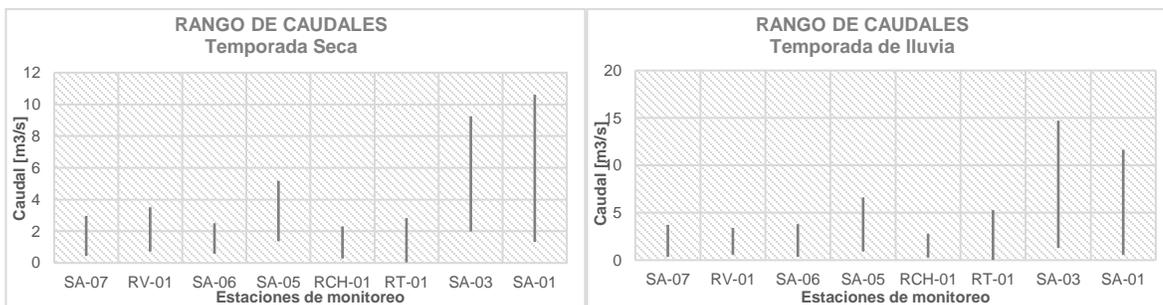


Grafico 4. Rangos generales de caudales por temporadas.

En el Grafico 5 se muestra de forma resumida la distribución de los caudales, donde se puede apreciar que en todas las estaciones se tuvieron datos atípicos que representan los máximos o mínimos de caudal, como ejemplo la estación SA-03 muestra que el 50% de los datos está en un rango entre 3.04 y 5.11 [m³/s].

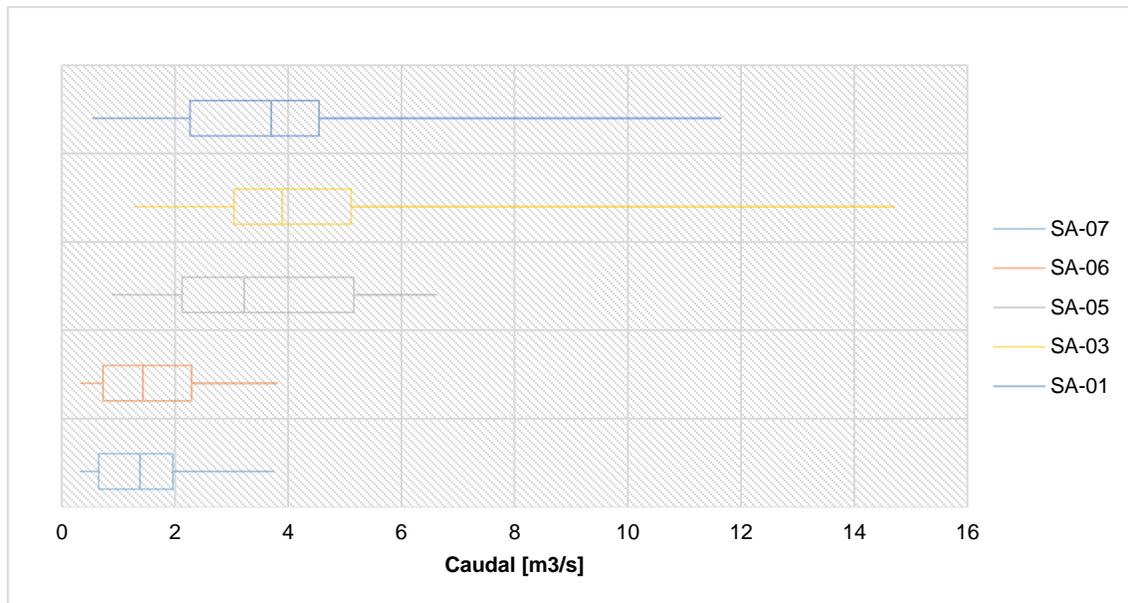


Grafico 5. *Gráfico de cajas y bigotes para caudales.*

Una gráfica general de la información anual de todas las estaciones se incluye en el Anexo 4 para constatar la notable disminución del caudal en todo el tiempo de monitoreo en cada estación sobre el río Suratá. Sin embargo, esta grafica solo sirve de referencia, ya que al ser datos promedios los tomados para su elaboración y estos al no tener una continuidad de toma, la hacen poco confiable.

3.3. Curvas de gastos o calibración.

Las curvas de calibración fueron preparadas solo para las estaciones de monitoreo donde existen miras limnimétricas (tres), las cuales son SA-07, SA-06 y RT-01 como se especificó en la Tabla 1 donde se identificaron las estaciones de monitoreo.

La Tabla 11, muestra un análisis estadístico de las medidas de tendencia central para las tres estaciones teniendo como parámetro las lecturas de las miras tomadas en el año 2015.

Tabla 11. Medidas de tendencia central para niveles.

ESTACIÓN	MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL PARA NIVELES DE LA MIRA LIMNIMETRICA [m]					
	N° de medidas registradas	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación Estándar	Promedio
RT-01	3	0.09	0.1	0.05	0.026457	0.08
SA-06	4	0.435	0.48	0.4	0.033040	0.4375
SA-07	5	0.25	0.5	0.22	0.116319	0.296

Se reconoce que la información obtenida de las miras tiene una distribución homogénea y no muy amplia, por lo que la desviación estándar encontrada en ellas es relativamente baja, lo cual podría ayudar a la construcción de la curva de calibración requerida.

Se elaboran las curvas correspondientes para cada estación, mostrando el método utilizado.

3.3.1. Curva de Calibración estación SA-07 Uña de Gato:

Se realiza la regresión de los datos de Nivel y caudal por el método de mínimos cuadrados como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Regresión potencial para curva de calibración de SA-07.

Fecha Realización [D/M/A]	Nivel Medio n [m]	Caudal Q [m ³ /s]	$X = \log(n)$	$Y = \log(Q)$	X^2	Y^2	$X*Y$
15/07/2015	0.28	0.5884	-0.5528	-0.2303	0.3056	0.0531	0.1273
20/08/2015	0.25	0.5474	-0.6021	-0.2617	0.3625	0.0685	0.1576
9/09/2015	0.23	0.4237	-0.6383	-0.3729	0.4074	0.1391	0.238
7/10/2015	0.22	0.3306	-0.6576	-0.4807	0.4324	0.2311	0.3161

4/11/2015	0.5	1.5859	-0.301	0.2003	0.0906	0.0401	-0.0603
N= 5	Sumatorias=		-2.7518	-1.1454	1.5985	0.5318	0.7787

$$a = 5.523313$$

$$b = 1.764814$$

$$r^2 = 0.97186$$

La curva de calibración obtenida se muestra en el Grafico 6 representando por la ecuación:

$$Q = 5.523313 * H^{1.764814}$$

El coeficiente de correlación obtenido es $r^2=0.9719$, mostrando que la ecuación se ajusta bien a los datos de campo para datos de nivel entre 0.22 y 0.50 m.

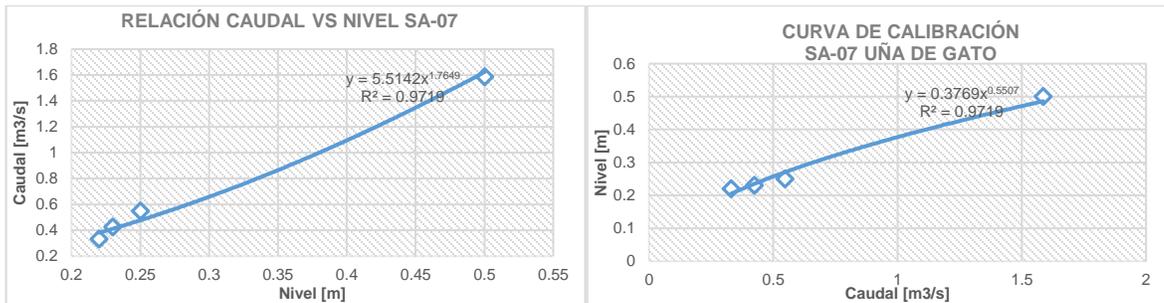


Grafico 6. Curva de calibración Estación SA-07.

3.3.2. Curva de Calibración estación SA-06 Puente Panega:

En la Tabla 13 se muestra la regresión por el método de mínimos cuadrados realizada al igual que para la estación anterior.

Tabla 13. Regresión potencial para curva de calibración de SA-06.

Fecha Realización [D/M/A]	Nivel Medio n [m]	Caudal Q [m3/s]	X=log (n)	Y=log (Q)	X ²	Y ²	X*Y
15/07/2015	0.48	0.5782	-0.3188	-0.2379	0.1016	0.0566	0.0758
20/08/2015	0.44	0.6373	-0.3565	-0.1957	0.1271	0.0383	0.0698
9/09/2015	0.43	0.5073	-0.3665	-0.2947	0.1343	0.0869	0.108
7/10/2015	0.4	0.3405	-0.3979	-0.4679	0.1584	0.2189	0.1862
N= 4	Sumatorias=		-1.4398	-1.1962	0.5214	0.4007	0.4398

Hallando los siguientes coeficientes:

$$a = 5.542311$$

$$b = 2.896947$$

$$r^2 = 0.624263$$

Y la ecuación:

$$Q = 5.542311 * H^{2.896947}$$

En este caso, se obtuvo un coeficiente de correlación de $r^2 = 0.6243$, el cual demuestra que la ecuación no se ajusta a los datos de campo para datos de nivel entre 0.40 y 0.48 m y es evidente en la Grafica 7.

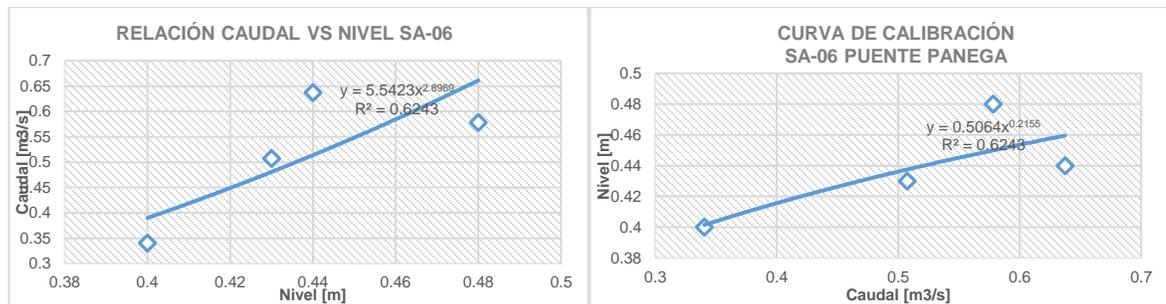


Grafico 7. Curva de calibración Estación SA-06.

3.3.3. Curva de Calibración estación RT-01 Puente Tona:

Se presenta la Tabla 14 con el método utilizado para la regresión de la curva.

Tabla 14. Regresión potencial para curva de calibración de SA-06.

Fecha Realización [dd/mm/yyyy]	Nivel Medio n [m]	Caudal Q [m3/s]	$X = \log(n)$	$Y = \log(Q)$	X^2	Y^2	$X*Y$
21/07/2015	0.1	0.1754	-1	-0.756	1	0.5715	0.756
21/08/2015	0.09	0.076	-1.0458	-1.1192	1.0936	1.2526	1.1704
9/09/2015	0.05	0.0229	-1.301	-1.6402	1.6927	2.6901	2.1339
N= 3	Sumatorias=		-3.3468	-3.5153	3.7863	4.5142	4.0603

$$a = 58.37528$$

$$b = 2.633573$$

$$r^2 = 0.923928$$

Se obtuvo la curva mostrada en el Grafico 8, cuya ecuación es:

$$Q = 58.37528 * H^{2.633573}$$

El coeficiente de correlación de $r^2 = 0.9239$, demuestra que la ecuación se ajusta bien a los datos de campo para datos de nivel entre 0.05 y 0.10 m.

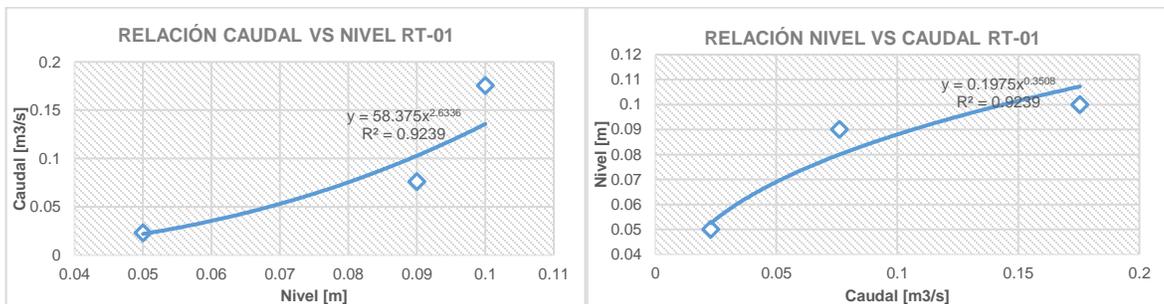


Grafico 8. Curva de calibración de estación RT-01 Puente Tona.

Para el caso de las estaciones sobre la cuenca del río Suratá, el valor de dispersión de las curvas de calibración obtenidas fue mayor al 10%, por lo tanto estas curvas no pueden considerarse como estables, lo que indica que los datos procesados para el cálculo de la curva de calibración son insuficientes, ya que estamos frente a una sección que no es estable y debe ser aforada con más frecuencia.

Por lo tanto, aunque se siguió el procedimiento para obtener las curvas de calibración, las curvas generadas no se ajustan a la realidad, y no pueden ser utilizadas para el cálculo de caudal en el punto de monitoreo. Por lo tanto, es

necesario un monitoreo más frecuente de cada estación para mejorar la confiabilidad y viabilidad de la realización y utilización de una curva de gastos, donde se puedan obtener los caudales del cauce con precisión.

Sin embargo y para uso académico se realizaron las curvas de calibración de las tres estaciones ajustando los datos con regresiones de mínimos cuadrados.

3.4. Análisis estadístico de datos de calidad de agua actuales

3.4.1. Análisis preliminar:

En la Tabla 15 se muestran los resultados del índice de calidad de agua (ICA) obtenido para el año 2015 en el que se puede ver el comportamiento de la corriente en los meses monitoreados, para lo cual se determinó una calidad promedio y una calidad representativa que es la mínima del periodo.

Tabla 15. Índice de Calidad monitoreos 2015.

PUNTO	SEP	OCT	NOV	PROM	Representativo
RIO SURATÁ Y AFLUENTES					
SA-07	82.19	76.38		79.285	76.38
SA-06	78.119	80.841	81.992	80.3173	78.119
RV-01	66.406	74.138	73.926	71.49	66.406
SA-05	70.047	70.665		70.356	70.047
RCH-01	79.962	83.307	81.2	81.4897	79.962
RT-01	70.975		79.323	75.149	70.975
SA-03	66.276	76.677	78.508	73.8203	66.276
SA-01	36.238	38.673	70.617	48.5093	36.238
RIO VETAS					
RV-05	62.589	52.287	59.121	57.999	52.287
RV-02	60.241	63.767	55.474	59.8273	55.474
LB-01	63.502	69.06	73.408	68.6567	63.502

Código de colores	OPTMA	BUENA	DUDOSA
-------------------	-------	-------	--------

En la Tabla 16 se muestran los resultados del ICA para los monitoreos realizados en el año 2014, donde en cada mes no necesariamente se realizó aforo en todos los puntos de monitoreo.

Tabla 16. Índice de Calidad monitoreos 2014.

Resultados 2014							
PUNT	FEB	MAR	MAY	JUN	AGO	OCT	PROM
RÍO SURATÁ Y SUS AFLUENTES							
SA-07	75.203		75.143		76.437	69.003	73.947
SA-06	61.527		58.251		61.046	57.89	59.679
RV-01	48.555		52.339		53.206	44.728	49.707
SA-05	52.268		52.224		54.785	45.148	51.106
RCH-01	57.876			70.56	75.202	75.296	69.7335
RT-01	58.303			70.375	61.855	60.359	62.723
SA-03	49.091			54.145	63.665	44.095	52.749
SA-01	37.196			47.752	35.308	36.837	39.273
RIO VETAS							
RV-05		40.072		61.406	43.511		48.329
RV-02		51.635		50.922	52.096		51.551
LB-01		49.764		61.163	60.745		57.224

Código de colores	OPTMA	BUENA	DUDOSA	INADECUADA
--------------------------	-------	-------	--------	------------

En la Tabla 17 se muestra un cuadro comparativo entre los valores del ICA para el año 2014 y 2015, que incluye los promedios anuales de cada punto de monitoreo. Se evidencia un aumento importante en la calidad del agua en la totalidad de las estaciones, lo que no corresponde a lo esperado para este año, debido a que no se ha realizado actividades de mejoramiento de calidad, ni cambios en las actividades antrópicas en la cuenca. Teniendo en cuenta que los análisis de laboratorio fueron realizados por un laboratorio externo a la CDMB se consideró que la información de calidad de agua para el año 2015 no es correcta. Esto se hace más evidente en el Grafico 9 que muestra en porcentajes la calidad general de la cuenca, donde el 100% representa todas las estaciones monitoreadas.

Tabla 17. Cuadro comparativo de ICA promedio 2014-2015.

CUADRO COMPARATIVO DE PROMEDIOS		
ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA DEL AÑO:	2014	2015
PUNTO	PROM	PROM
RÍO SURATÁ Y SUS AFLUENTES		
SA-07	73.9465	79.285
SA-06	59.6785	80.3173
RV-01	49.707	71.49
SA-05	51.1063	70.356
RCH-01	69.7335	81.4897
RT-01	62.723	75.149
SA-03	52.749	73.8203
SA-01	39.2733	48.5093
RIO VETAS		
RV-05	48.3297	57.999
RV-02	51.551	59.8273
LB-01	57.224	68.6567

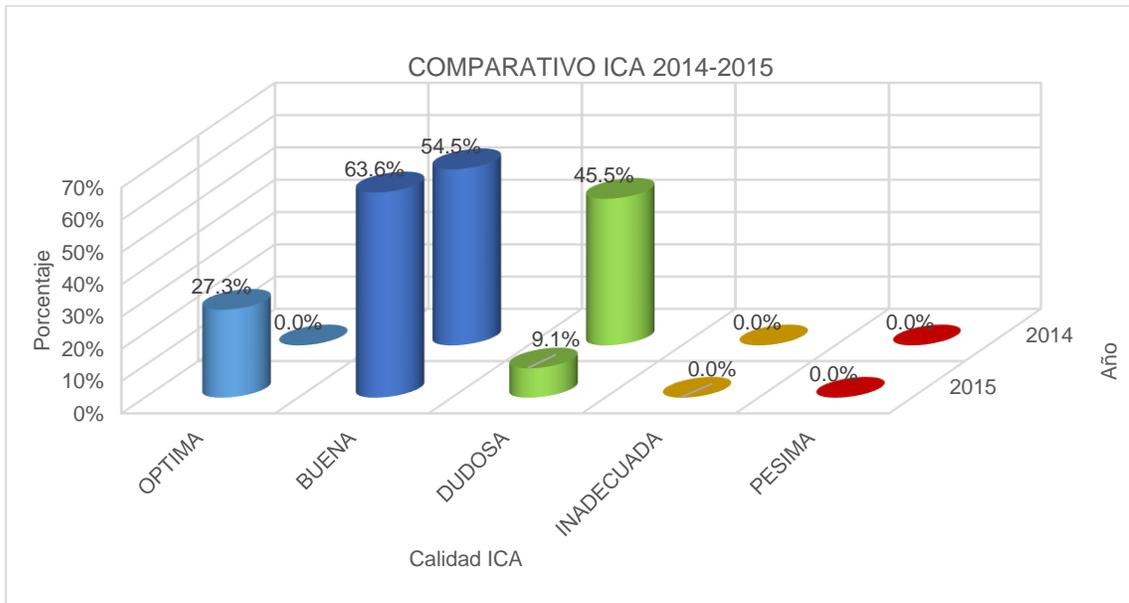


Gráfico 9. Comparativo de porcentaje de Calidad de ICA 2014-2015.

Es necesario resaltar que se presentó un aumento excesivo en la calidad de agua en todas las estaciones de la CDMB (los 65 puntos de monitoreo) por lo cual se optó

por utilizar los valores representativos o críticos de la Tabla 14 y los ICO's correspondientes, los cuales están principalmente relacionados a la primera jornada de monitoreos.

Ante la poca confiabilidad de la información de calidad de agua para el año 2015, en la Tabla 18 se muestra la información total de los datos que fue seleccionada para el estudio y la elaboración del Informe anual de calidad de agua de la CDMB del año 2015, la cual representa la calidad más baja obtenida en los monitoreos realizados.

Tabla 18. Información total de índices de calidad y contaminación de agua.

Índices de Calidad del Agua del año:	2014	2015
PUNTO	PROM	ÍNDICE CRITICO
RÍO SURATÁ Y SUS AFLUENTES		
SA-07	73.9465	76.38
SA-06	59.6785	78.119
RV-01	49.707	66.406
SA-05	51.10625	70.047
RCH-01	69.7335	79.962
RT-01	62.723	70.975
SA-03	52.749	66.276
SA-01	39.27325	36.238
RÍO VETAS		
RV-05	48.3296667	52.287
RV-02	51.551	55.474
LB-01	57.224	63.502

PUNTO	ICOMI	ICOMO	ICOSUS	ICOTRO	Grado	
RÍO SURATÁ Y SUS AFLUENTES						
Uña de Gato	SA-07	0.167	0.058	0.142	0.15	EUTR
Pánaga	SA-06	0.477	0.196	0.136	0.183	EUTR
Pánaga	RV-01	0.669	0.054	0.424	0.174	EUTR
La Playa	SA-05	0.542	0.095	0.292	0.158	EUTR
La Playa	RCH-01	0.427	0.095	0.04	0.157	EUTR
Pte Tona	RT-01	0.8	0.095	0.73	0.257	EUTR
Bosconia	SA-03	0.544	0.251	0.4	2.21	HIPE

Bavaria	SA-01	0.758	0.763	0.466	0.524	EUTR
RIO VETAS						
Borrero	RV-05	0.18	0.177	1	0.167	EUTR
Loma Redonda	RV-02	0.136	0.054	1	0.241	EUTR
La Baja	LB-01	0.705	0.055	1	0.284	EUTR

Código de colores	NINGUNA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
--------------------------	---------	-------	------	----------

En el Grafico 10 se evidencia un aumento de la calidad acorde a lo que se ha presentado en los años anteriores y que puede corresponder al aumento de caudal que se presentó en este año y el cual puede ser consultado en las documento Anexo 4, por lo cual se asume que esta es una aproximación más cercana a lo esperado en esta corriente.

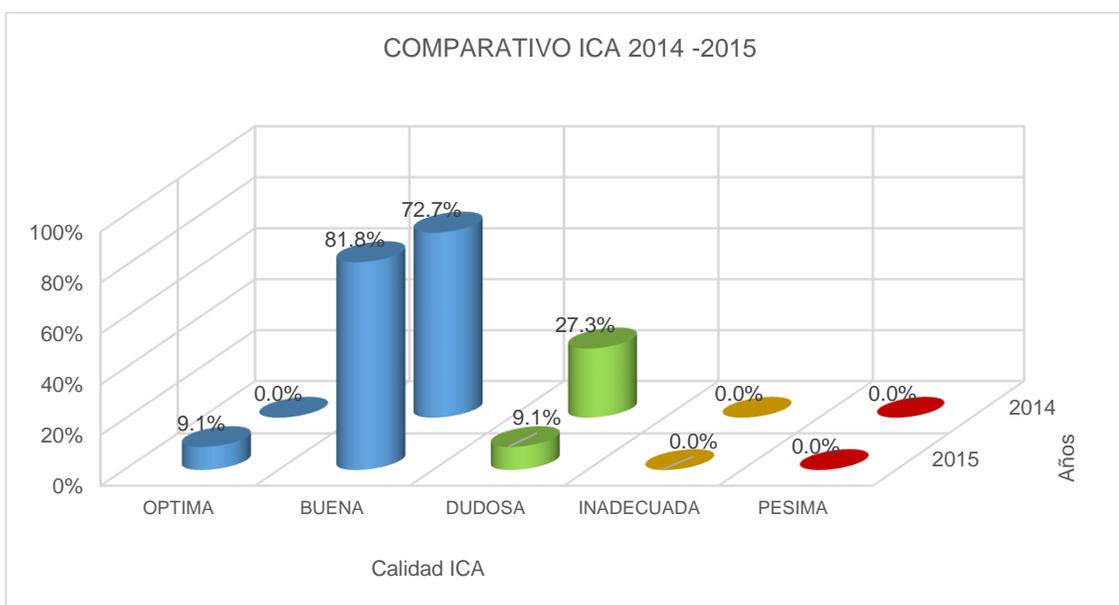


Grafico 10. Comparativo de porcentaje de Calidad de ICA 2014-2015 corregido.

En el Gráfico 11 aparecen los porcentajes de índices de contaminación para el año 2015 y 2014 respectivamente, donde se observa que estos disminuyeron significativamente. Con respecto al ICOMI disminuyó el porcentaje de contaminación clasificada como Baja y Ninguna y aumentaron las clasificaciones

Muy Alta, Media y Alta. Para el índice ICOMO se ve un aumento en la clasificación Ninguna y pasaron a ser nulas las clasificaciones Media y Muy Alta. Para el índice ICOSUS aumentó la clasificación Media, Alta y Muy alta.

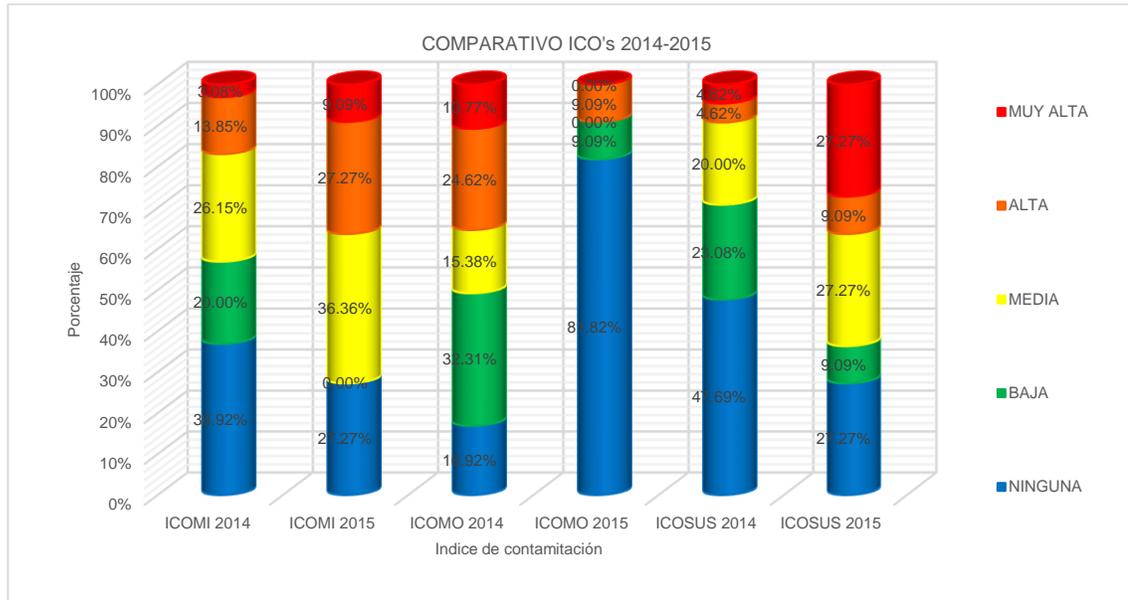


Grafico 11. Resumen índices de contaminación 2014-2015.

Fuente: Informe Anual de la Red de Monitoreo de Calidad del Agua 2014 CDMB.

En el Grafico 12 y 13 se muestra un comparativo de los índices a través de la longitud del cauce principal, evidenciando una disminución de calidad en el ICA y el aumento de contaminación en los ICO's respectivamente.

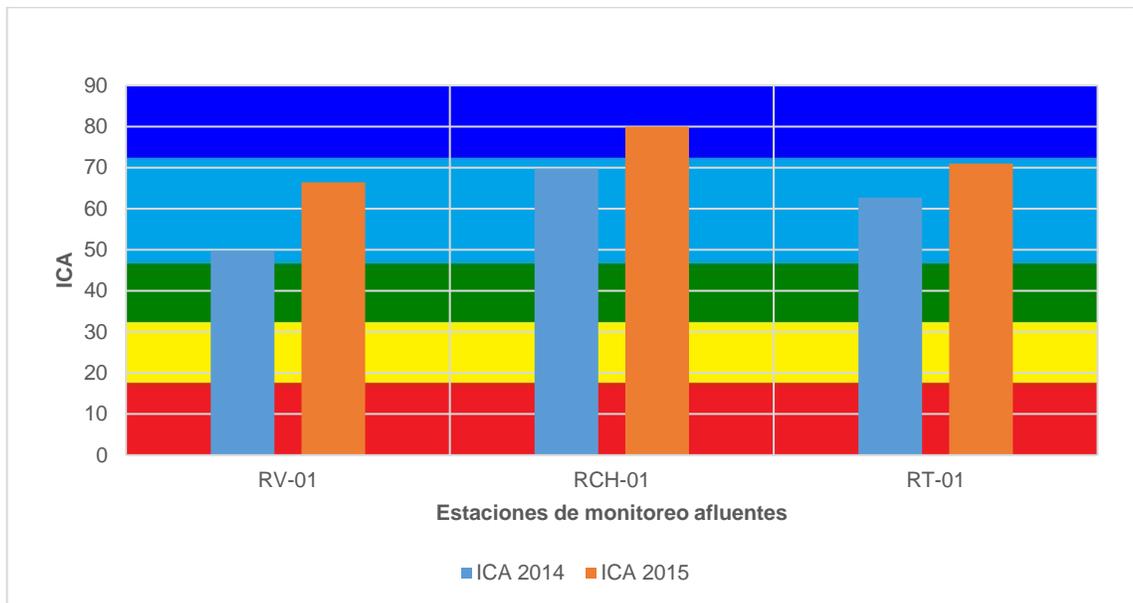
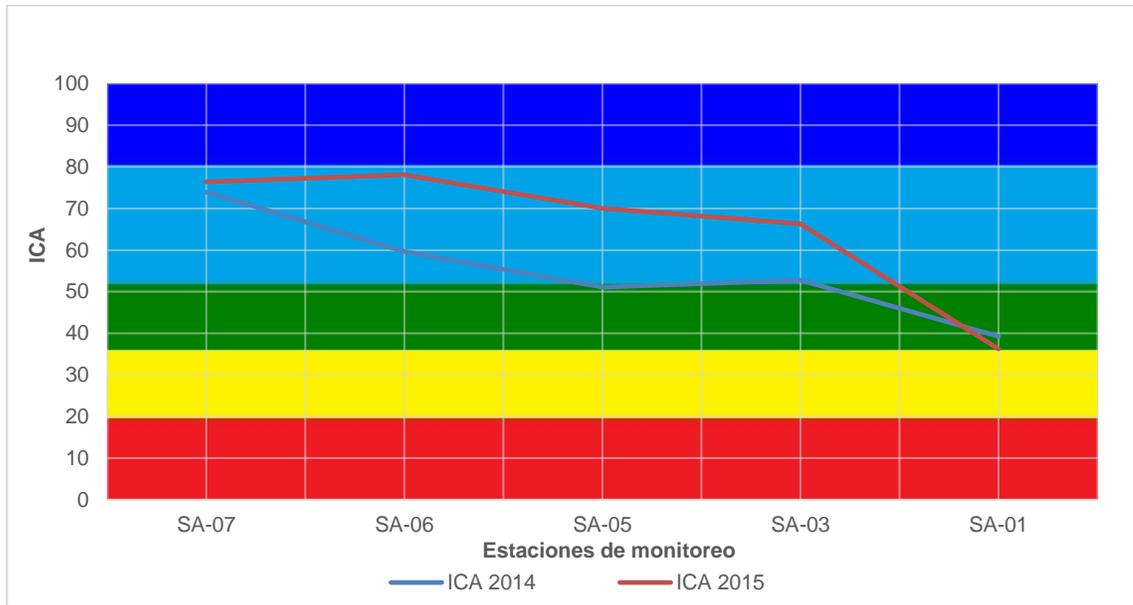


Grafico 12. Comparativos ICA 2014-2015.

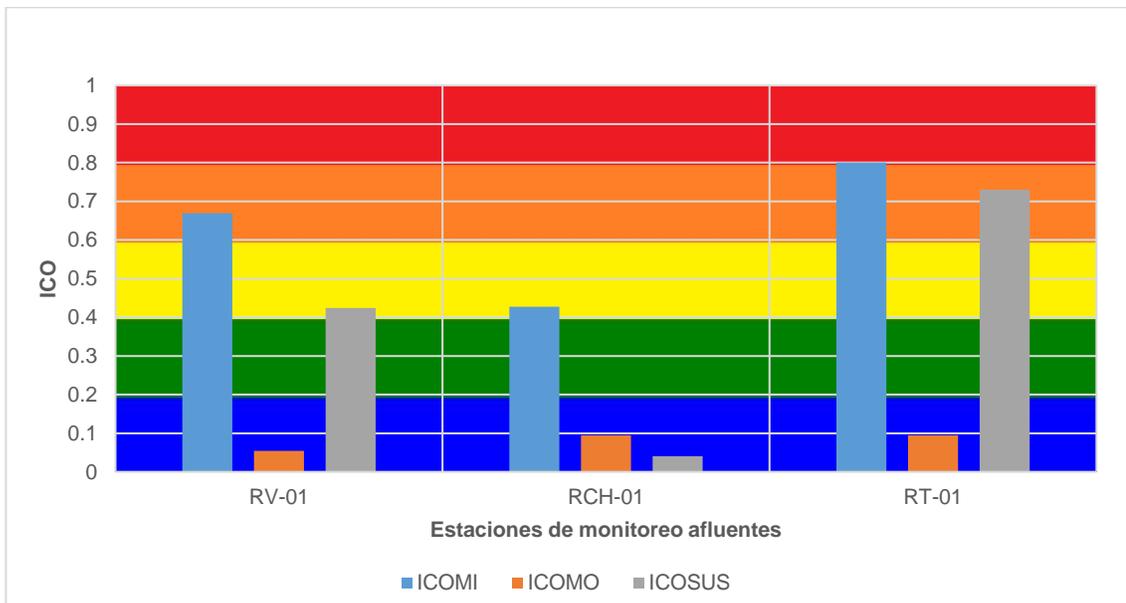
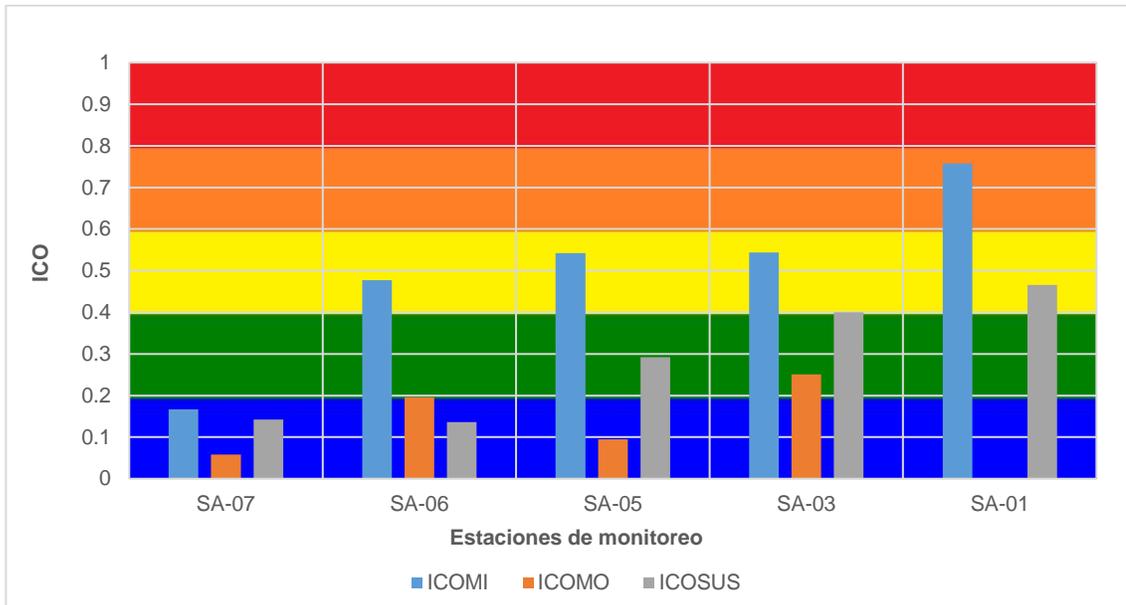


Grafico 13. Comparativos ICO's 2014-2015.

3.4.2. Frecuencia de monitoreo de calidad de agua:

En el Gráfico 14 se ilustra el número total de registros existentes de monitoreos, índices de calidad y caudal, lo cual permite evaluar la posibilidad de relacionar los

datos existentes de calidad con un aforo de caudal, mostrando que se cuenta en muchas de las estaciones con pocos datos de caudal, siendo poco recomendable su relación para monitoreos históricos, por lo que es necesario realizar los monitoreos tomando tanto aforos de caudal como el muestreo del agua para su análisis de calidad.

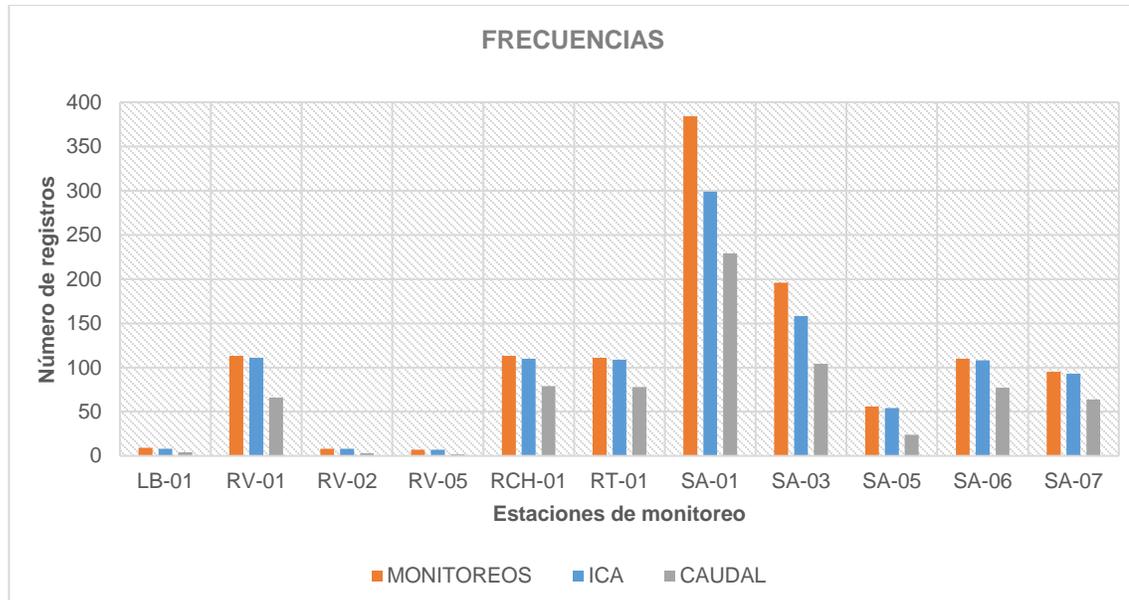


Grafico 14. Frecuencia de monitoreo de calidad de agua.

3.4.3. Análisis espacial-temporal.

Para el análisis espacial de la cuenca del río Suratá se preparó el Grafico 15, que muestra el aporte que los afluentes le hacen al cauce para el año 2015; donde se ve reflejada una disminución de la calidad a lo largo del recorrido del río Suratá, aunque la influencia que tienen sus afluentes es positiva como se muestra en la Tabla 22. Se evidencia en la sección situada entre SA-03 y SA-01 una disminución significativa de calidad debido a la presencia del vertimiento de Bavaria, causando una disminución en promedio de 25 puntos aproximadamente en el ICA.

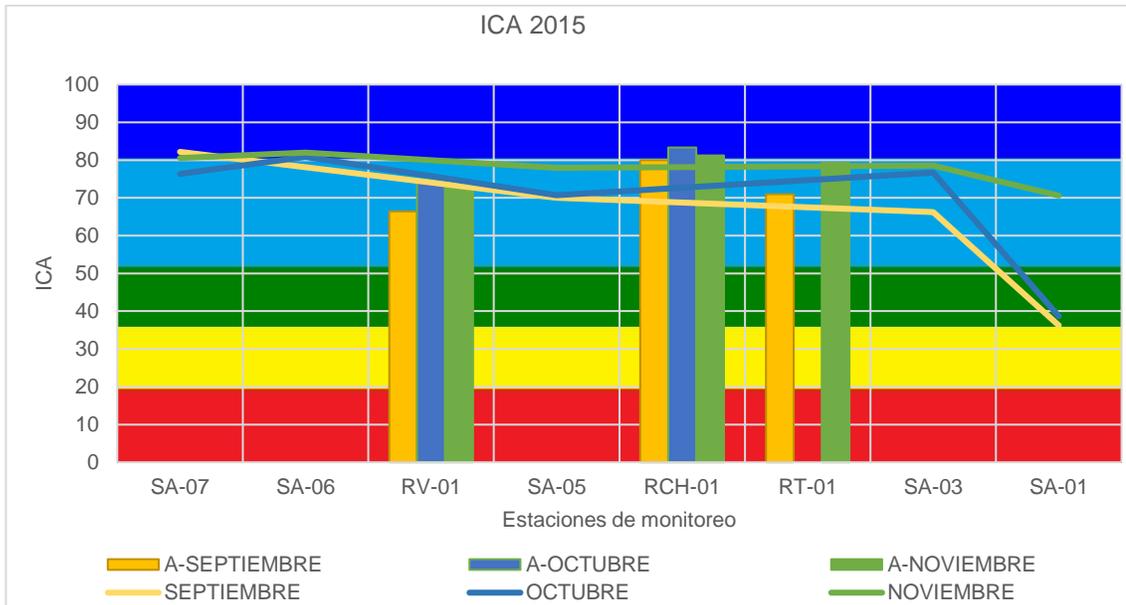


Gráfico 15. Representación gráfica del ICA para el año 2015 del río Suratá.

El Gráfico 16 muestra el comportamiento del río Suratá debido a la mineralización, mostrado según el ICOMI, donde se ve reflejado un aumento en la contaminación a lo largo del recorrido del cauce y el cual está influenciado por la contribución que realizan sus afluentes. Se evidencia que la estación RT-01 representa un aporte significativo de contaminación de 0.8 y 0.75 unidades que puede deberse a la presencia del embalse ubicado aguas arriba de la estación de monitoreo y el tipo de suelo presente en la zona; y en el mes de octubre la contaminación en la estación RV-01 también es significativa aumentando aproximadamente 0.36 unidades entre las estaciones SA.06 y SA-05 que puede estar relacionado a la presencia de minería en Vetás.

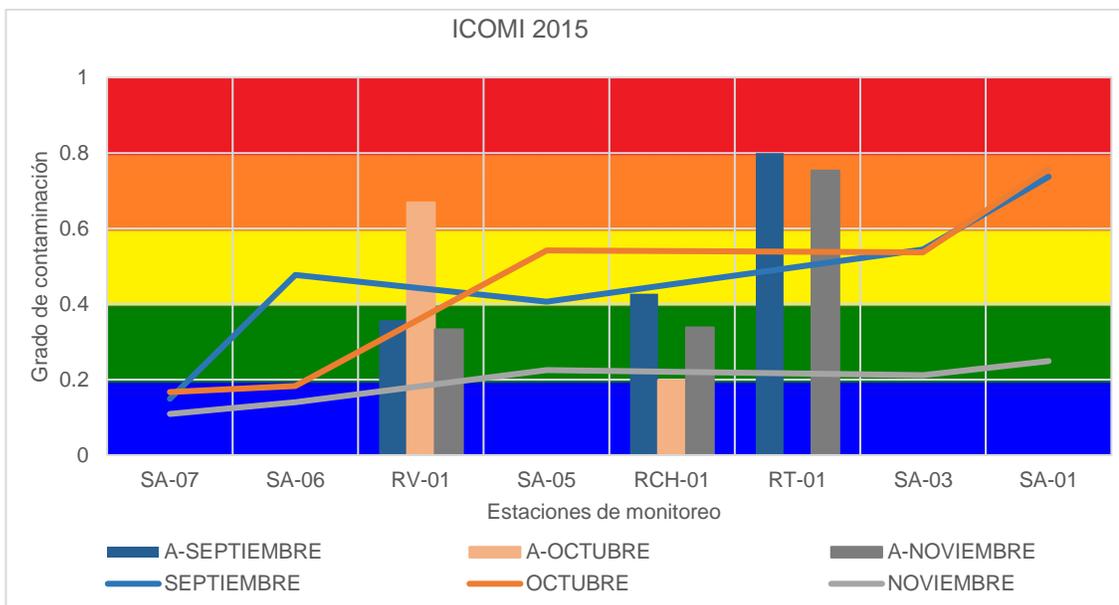


Gráfico 16. Representación gráfica del ICOMI para el año 2015 del río Suratá.

Para la contaminación por materia orgánica se realizó el Gráfico 17, el cual muestra el comportamiento del ICOMO; cuyo resultado indica niveles muy bajos de contaminación y solo se muestra un cambio significativo entre las estaciones SA-03 y SA-01 donde existe un aumento de contaminación de 0.69 unidades para el mes de octubre y de 0.51 unidades para septiembre asociado a vertimientos de aguas residuales en la zona.

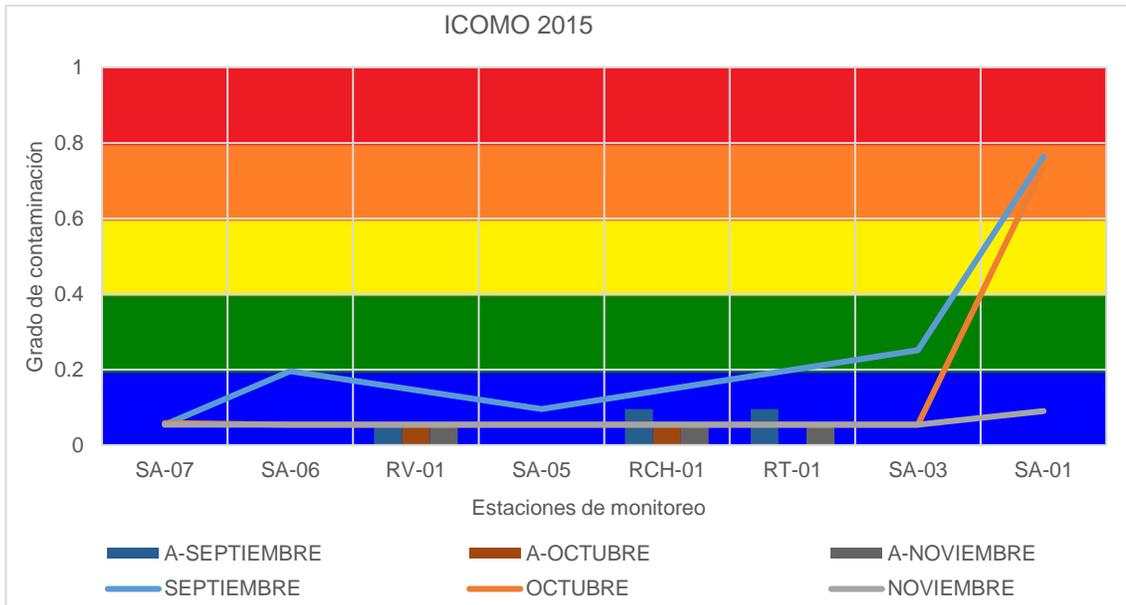


Grafico 17. Representación gráfica ICOMO para el año 2015 del río Suratá.

En el Grafico 18 se observa el comportamiento de contaminación por Sólidos Suspendidos y se nota que a lo largo de la corriente este índice va aumentando hasta llegar a un nivel de contaminación media en la última estación monitoreada, sin embargo el aporte realizado por los afluentes RV-01 y RT-01 muestra que estas corrientes contienen niveles de contaminación más elevados que los de la corriente principal debido a que estos contienen las aguas residuales de los municipios de Vetás y Tona.

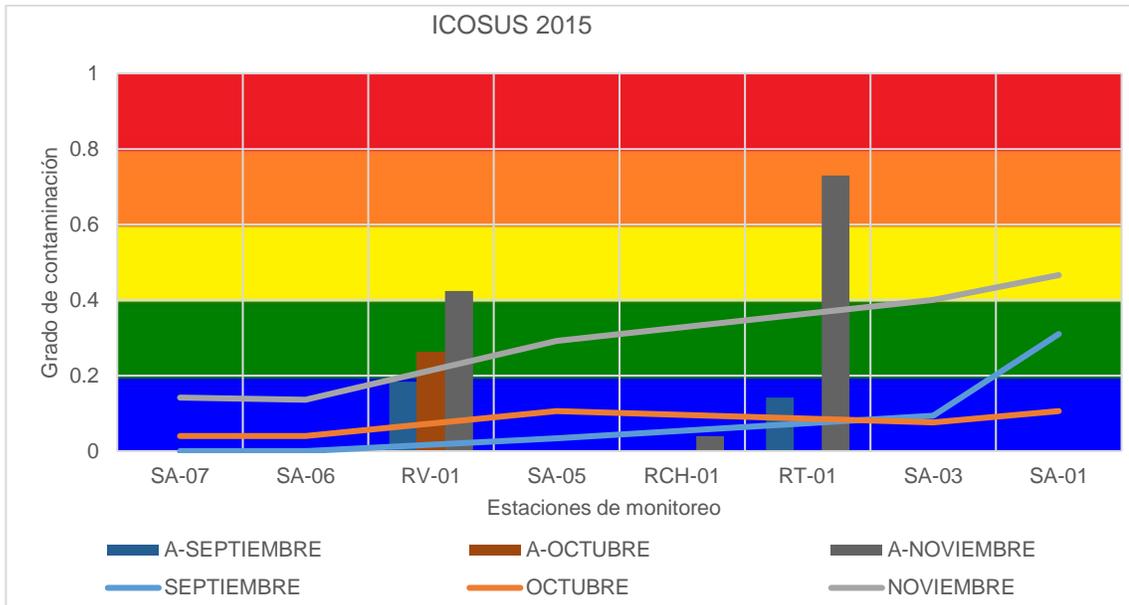


Grafico 18. Representación gráfica del ICOSUS para el año 2015 del río Suratá.

Finalmente en el Gráfico 19 se muestra la interacción como contaminante del Fósforo, según el índice ICOTRO, el cual se mantiene con una clasificación de Eutrófico a lo largo del cauce y solo presenta un aumento en la contaminación para el mes de septiembre en la estación SA-03, lo cual demuestra un alto estado de intervención antrópica a lo largo del cauce.

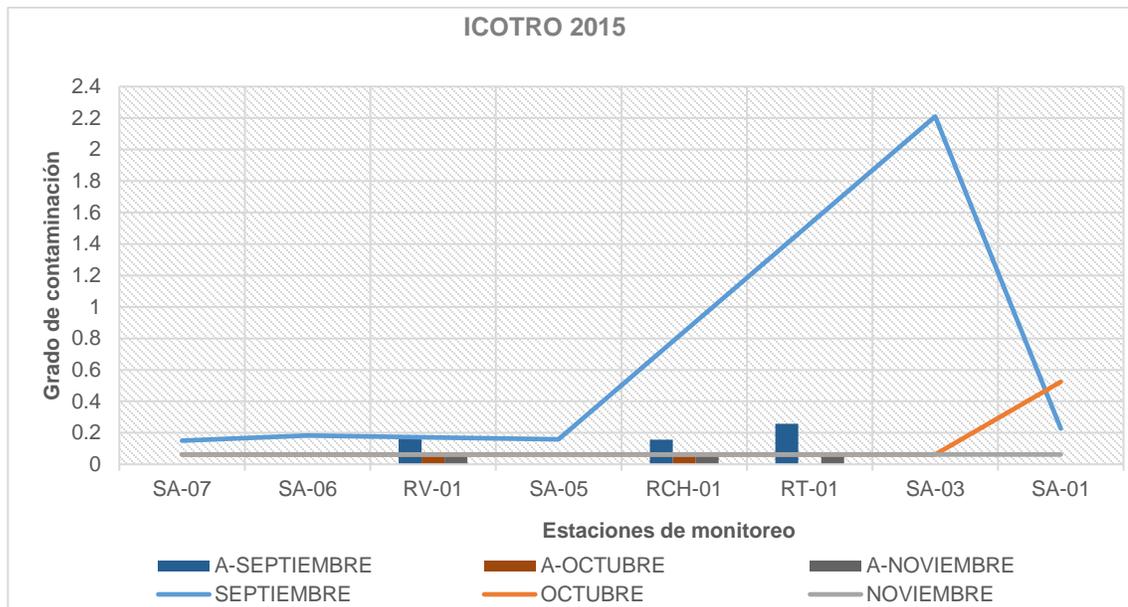


Grafico 19. Representación gráfica del ICOTRO para el año 2015 del río Suratá.

Finalmente, es de notar que la calidad de la cuenca es buena en la mayoría de las estaciones y por lo tanto no tiene limitaciones en cuanto su uso y se estima un ambiente acuático sano en gran parte de la cuenca. Sin embargo, en la parte baja es necesario realizar mayor número de monitoreos debido a la presencia de vertimientos que disminuyen significativamente la calidad. Es evidente un comportamiento constante en términos de contaminación a lo largo del cauce y que se ve afectado principalmente en las dos últimas estaciones y en algunos afluentes, los cuales requieren mayor seguimiento, monitoreo y control debido a la presencia de captaciones y vertimientos en la zona.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ✓ A lo largo del cauce principal se puede identificar un aumento del caudal principalmente influenciado por el aporte de sus afluentes y no por la temporada de lluvias, y se ve afectado por las captaciones que realiza el acueducto de Bucaramanga en la parte baja del mismo.

- ✓ El Índice de Calidad del Agua en la corriente estudiada aumentó pasando de dos estaciones con nivel de Dudosa a Buena y una de Buena a Optima y con respecto a los Índices de Contaminación se evidenció una disminución significativa para la contaminación por materia orgánica pasando del 83% al 18% con algún nivel de contaminación, mientras que para los índices de mineralización y Sólidos Suspendidos aumento de un 63% a un 73% y de un 52% a un 73% con algún nivel de contaminación respectivamente.

- ✓ Como se ha hecho notar en todo el informe es necesario que se incremente la frecuencia en el muestreo y toma de datos de las estaciones pertenecientes a la red de monitoreo, para su correcto funcionamiento y validez de la información obtenida. Hasta tanto no ocurran mejoras en este sentido, solo es posible determinar un comportamiento básico y general de la cuenca.

- ✓ Se recomienda la automatización de la red hidrométrica o contratar personal que se pueda encargar de la toma de datos continuos en cada una de las estaciones en las que se tienen miras limnimétricas, registrando los niveles dos veces al día (6 am y 6 pm).

- ✓ Es recomendable la implementación de un plan de acción en el que se identifiquen plenamente las necesidades de monitoreo de las corrientes hídricas

donde sea de vital importancia la toma de aforos de caudal como método de prevención de riesgos y evitar el deterioro de las fuentes hídricas.

- ✓ Los datos procesados para el cálculo de la curva de calibración son insuficientes, ya que estamos frente a una sección que no es estable y que debe ser aforada con más frecuencia, por lo cual las curvas de calibración realizadas no se ajustan a la realidad, y no pueden ser utilizadas para el cálculo de caudal en el punto de monitoreo.
- ✓ Es necesario la utilización de laboratorios de la entidad para que las muestras tomadas en los sitios de monitoreo no sufran alteraciones y los resultados reportados tengan alto nivel de confiabilidad. Además de contribuir a la pronta divulgación de dichos resultados mediante la creación de informes anuales y semestrales en un tiempo adecuado.
- ✓ Se recomienda realizar los monitoreos de cantidad y calidad en conjunto para realizar estudios que relacionen calidad y cantidad efectivamente.
- ✓ Debido a la falta de continuidad en la toma de muestras y aforos sobre la misma corriente, se dificulta los análisis que se podrían realizar de conservación de masa, y no se puede establecer con claridad cuáles son los aportes de caudal y contaminación debidos a afluentes o presencia de poblaciones o industria.
- ✓ Se recomienda establecer cronogramas y brigadas de monitoreo más acordes con las necesidades de la cuenca, donde se priorice el monitoreo en conjunto de todas sus estaciones al tiempo.
- ✓ La CDMB elabora los índices de calidad y contaminación establecidos por políticas nacionales y el IDEAM, sin embargo la clasificación para el índice de

Calidad de agua ICA están fijados de manera diferente, siendo esto un obstáculo al comparar la información con la situación en otras corrientes del país.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Información sobre la naturaleza jurídica de la CDMB». [En línea]. Disponible en: <http://www.cdmb.gov.co/web/asi-es-la-cdmb/naturaleza-juridica>. [Accedido: 03-nov-2015].
- [2] «Área de Jurisdicción». [En línea]. Disponible en: <http://www.cdmb.gov.co/web/asi-es-la-cdmb/area-de-jurisdiccion>. [Accedido: 06-jul-2016].
- [3] «CDMB::Archivos». [En línea]. Disponible en: <http://caracoli.cdmb.gov.co/cai/rhc/redcalidad.html>. [Accedido: 23-oct-2015].
- [4] Andrea Baez A, «Informe anual de la red de monitoreo de calidad de agua 2013», Corporacion Autonoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, Informe Anual.
- [5] «REDES DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA - IDEAM». [En línea]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/redes-monitoreo-calidad-agua>. [Accedido: 06-jul-2016].
- [6] «Protocolo de monitoreo hidrológico», Diciembre de-2012. [En línea]. Disponible en: <http://www.asocana.com.co/documentos/472014-F910E241-00FF00,000A000,878787,C3C3C3,0F0F0F,B4B4B4,FF00FF,FFFFFF,2D2D2D,B9B9B9.pdf>. [Accedido: 07-jul-2016].
- [7] «Aforo de corrientes de agua». [En línea]. Disponible en: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulosos/flujoencanales/aforamientocorrientes/aforodecorrientes.html>. [Accedido: 16-jul-2016].
- [8] «Aforo por vadeo», *CivilGeeks.com*. .
- [9] «CDMB::Estaciones de Calidad». [En línea]. Disponible en: <http://caracoli.cdmb.gov.co/cai/rhc/estacantidad.html>. [Accedido: 16-jul-2016].
- [10] Alfonso perez preciado, «Metodos para elaborar curvas de calibracion en cauces aluviales», jun-1969. [En línea]. Disponible en:

http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/013609/metodos_elaborar_curvas.pdf. [Accedido: 08-jul-2016].

- [11] «CDMB::índices Calidad». [En línea]. Disponible en: <http://caracoli.cdmdb.gov.co/cai/rhc/indcalidad.html>. [Accedido: 08-jul-2016].
- [12] Contreras Trujillo, Claudia; Niño Romero, Raul, *Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua*. Bogota D.C.: Imprenta nacional de Colombia, 2007.
- [13] Subdirección de Ordenamiento y Planificación Integral del Territorio CDMB, «INFORME ANUAL DE LA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AGUA», Bucaramanga, 2015.